



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

**“DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO MAS EFICIENTE
Y AJUSTE DEL (KC) MEDIANTE LISIMETRIA EN EL CULTIVO
DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var. canarillo mejorado EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA: VANESSA ELIZABETH VIZUETE OROZCO

DIRECTOR: Ing. JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ. PhD

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Vanessa Elizabeth Vizuite Orozco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, VANESSA ELIZABETH VIZUETE OROZCO, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de junio de 2022.

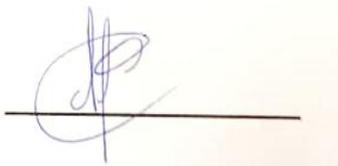
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vanessa Elizabeth Vizuite Orozco', with some scribbles and a horizontal line underneath.

Vanessa Elizabeth Vizuite Orozco

060531642-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación “**DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO MAS EFICIENTE Y AJUSTE DEL (KC) MEDIANTE LISIMETRIA EN EL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI**”, realizado por la señorita: **VANESSA ELIZABETH VIZUETE OROZCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-06-08
Ing. Juan Eduardo León Ruiz. PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-06-08
Ing. Alfonso Leonel Suarez Tapia. PhD MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-06-08

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a Dios, quien siempre me ha guiado en la dirección correcta, me ha dado la fuerza para seguir adelante. A mis padres Freddy Vizuete y Graciela Orozco, por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por estar en todo momento y ayudarme con todos los recursos económicos para estudiar. Así también a mis hermanos Alex, Joselyn, Yomaira, Mercy y Sonia que de una u otra forma siempre están presentes, por todos los buenos y malos momentos que pasamos; de la misma forma a mis amigos que siempre me acompañaron en mi vida estudiantil.

Vanessa

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme salud, vida y cumplir mis sueños. A mis padres mis pilares fundamentales, por su apoyo y comprensión por haber confiado en mí, gracias infinitas por enseñarme a no desistir y a siempre intentar hasta lograr lo que me proponga, gracias por todas las palabras de aliento y ánimo que recibí en todo momento. A mis hermanos, tías, primos, que me apoyaron de una u otra manera, por sus consejos y palabras de aliento que nunca faltaron.

Como no agradecer a mis amigos Marcia Guambo, Luis Ruiz, Juan Coro, Cristian Manya, Wilmer Buenaño, Ángel Altamirano, Katy Cayambe, Klever Coque; que durante este trayecto de mi vida estudiantil siempre se hicieron presentes con su amistad sincera e incondicional. Mi gratitud al Ing. Juan Eduardo León Ruiz. PhD, director de mi trabajo de titulación, por impartir sus conocimientos, apoyo y paciencia indiscutible durante el trabajo de investigación, al Ing. Sebastián Silva quien me guio con sus conocimientos durante el transcurso del proyecto de investigación. Al Ing. Alfonso Leonel Suarez Tapia. PhD, asesor de mi trabajo de titulación, por todo el apoyo brindado durante toda la ejecución del presente trabajo. El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, en especial a todos los docentes, quienes nos formaron académicamente a largo de mi etapa estudiantil y a los amigos y miembros del Centro Experimental de Riego, quienes me dieron su apoyo durante mi proyecto.

Vanessa

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Recurso hídrico.....	4
1.1.1. <i>Importancia de riego en el cultivo</i>.....	4
1.1.2. <i>Requerimientos hídricos</i>.....	4
1.2. Riego.....	5
1.2.1. <i>El agua en el suelo</i>.....	5
1.2.2. <i>Métodos de riego</i>.....	7
1.2.3. <i>Programación del riego para los cultivos</i>.....	9
1.2.4. <i>Riego tecnificado</i>.....	9
1.3. Coeficiente de cultivo (kc).....	9
1.3.1. <i>Fenología</i>.....	9
1.3.2. <i>Evapotranspiración de referencia (ET_o)</i>.....	10
1.3.3. <i>Evapotranspiración de cultivo (ET_c)</i>.....	10
1.4. Relaciones hídricas de la planta.....	10
1.4.1. <i>Conductancia estomática</i>.....	11
1.4.2. <i>Potencial xilemático</i>.....	11
1.5. Eficiencia de riego.....	12
1.5.1. <i>Riego por goteo</i>.....	12
1.5.2. <i>Riego por aspersión</i>.....	13
1.5.3. <i>Riego por gravedad</i>.....	13
1.6. Diseño agronómico.....	14
1.6.1. <i>Lámina neta (L_n) y bruta (L_b)</i>.....	14
1.6.2. <i>Frecuencia de riego</i>.....	14
1.6.3. <i>Volumen de riego</i>.....	15

1.7.	Diseño hidráulico	15
1.8.	Lisímetros de drenaje	15
1.9.	Huella hídrica	16
1.9.1.	<i>Huella hídrica azul</i>	16
1.9.2.	<i>Huella hídrica verde</i>	16
1.10.	Cultivo de fréjol	16
1.10.1.	<i>Importancia</i>	16
1.10.2.	<i>Taxonomía</i>	17
1.10.3.	<i>Morfología</i>	17
1.10.4.	<i>Fenología</i>	18
1.10.5.	<i>Manejo de cultivo</i>	19
1.10.5.3.	<i>Manejo de malezas</i>	19
1.10.5.4.	<i>Plagas y enfermedades</i>	20
1.10.6.	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	20
1.10.7.	<i>Requerimientos hídricos</i>	20

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	21
2.1.	Características del área experimental	21
2.1.1.	<i>Localización</i>	21
2.1.2.	<i>Clasificación ecológica</i>	22
2.1.3.	<i>Especificaciones del ensayo</i>	22
2.1.4.	<i>Diseño experimental</i>	23
2.2.	Equipos y materiales	23
2.2.1.	<i>Material biológico</i>	23
2.2.2.	<i>Materiales de campo y equipos de laboratorio</i>	23
2.2.3.	<i>Materiales de oficina</i>	24
2.3.	Métodos	24
2.3.1.	<i>Eficiencia de riego</i>	24
2.3.2.	<i>Ajuste del coeficiente de cultivo</i>	30
2.4.	VARIABLES agronómicas y métodos de evaluación	34
2.5.	Manejo del ensayo	39
2.5.1.	<i>Labores pre culturales</i>	39
2.5.2.	<i>Labores culturales</i>	40

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
3.1.	Identificación y duración de etapas fenológicas en el cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Var. Canarillo mejorado.....	43
3.1.1.	<i>Etapa inicial</i>	43
3.1.2.	<i>Etapa de desarrollo</i>	44
3.1.3.	<i>Etapa intermedia</i>	44
3.1.4.	<i>Etapa final</i>	44
3.1.5.	<i>Ciclo de cultivo de frejol (Phaseolus vulgaris L.) var. Canarillo mejorado</i>	45
3.2.	Coefficiente de cultivo y kc ajustado al cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) var. Canarillo mejorado	45
3.3.	Variables y métodos de evaluación	48
3.3.1.	<i>Altura de la planta</i>	48
3.3.2.	<i>Diámetro del tallo</i>	52
3.3.3.	<i>Numero de hojas</i>	57
3.3.4.	<i>Conductancia estomática antes del riego</i>	61
3.3.5.	<i>Conductancia estomática después del riego</i>	66
3.3.6.	<i>Potencial hídrico antes del riego</i>	71
3.3.7.	<i>Potencial hídrico después del riego</i>	75
3.3.8.	<i>Contenido relativo de agua (%WRC)</i>	79
3.3.9.	<i>Materia seca</i>	81
3.3.10.	<i>Rendimiento</i>	83
3.3.11.	<i>Huella hídrica</i>	87
3.4.	Eficiencia de riego	92
3.5.	Volumen de agua aplicado	93
3.6.	Análisis económico	93
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES.....	96
	BIBLIOGRAFÍA1	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.....	6
Tabla 2-1:	Rangos de tensión en el agua del suelo y su interpretación.....	7
Tabla 3-1:	Ventajas y desventajas del riego por gravedad.....	7
Tabla 4-1:	Ventajas y desventajas del riego por aspersión.	8
Tabla 5-1:	Ventajas y desventajas del riego por goteo.	8
Tabla 6-1:	Interpretación de CU	13
Tabla 7-1:	Descripción taxonómica	17
Tabla 8-1:	Fenología del frejol.....	18
Tabla 9-1:	Requerimientos nutricionales de cultivo de fréjol.....	19
Tabla 1-2:	Características de la zona de estudio	22
Tabla 2-2:	Análisis de varianza.....	23
Tabla 3-2:	Datos registrados en campo para aspersión.....	25
Tabla 4-2:	Volúmenes retenidos en los vasos pluviométricos de aspersión	25
Tabla 5-2:	Datos registrados en campo para goteo.	27
Tabla 6-2:	Volúmenes almacenados en los vasos pluviométricos de goteo	27
Tabla 7-2:	Datos registrados en campo para gravedad	29
Tabla 8-2:	Identificación de etapas fenológicas en fréjol.	33
Tabla 9-2:	Descripción de variables agronómicas y métodos de evaluación.....	34
Tabla 1-3:	Análisis de la Varianza para altura de la planta a los 20 días.....	48
Tabla 2-3:	Análisis de varianza para la altura de la planta a los 40 días.....	49
Tabla 3-3:	Análisis de varianza para altura de la planta a los 80 días.....	50
Tabla 4-3:	Análisis de varianza para altura de la planta a los 120 días.....	51
Tabla 5-3:	Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 20 días.	52
Tabla 6-3:	Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 40 días.	53
Tabla 7-3:	Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 80 días.	54
Tabla 9-3:	Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 120 días.	55
Tabla 10-3:	Análisis de varianza para número de hojas a los 20 días.....	57
Tabla 12-3:	Análisis de varianza para número de hojas a los 40 días.....	58
Tabla 13-3:	Análisis de varianza para el número de hojas a los 80 días.....	59
Tabla 14-3:	Análisis de varianza para el número de hojas a los 120 días.....	60
Tabla 15-3:	Análisis de varianza para la conductancia antes del riego a los 20 días.	61
Tabla 16-3:	Análisis de varianza para la conductancia antes del riego a los 40 días.	62
Tabla 17-3:	Análisis de varianza para la conductancia antes del riego a los 80 días.....	63
Tabla 19-3:	Análisis de varianza para la conductancia antes del riego a los 120 días.....	64

Tabla 19-3:	Análisis de varianza para la conductancia después del riego a los 20 días.	66
Tabla 20-3:	Análisis de varianza para la conductancia después del riego a los 40 días.	67
Tabla 21-3:	Análisis de varianza para la conductancia después del riego a los 80 días.	68
Tabla 22-3:	Análisis de varianza para la conductancia después del riego a los 120 días.	69
Tabla 23-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 20 días.	70
Tabla 24-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 40 días.	71
Tabla 25-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 80 días.	72
Tabla 26-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 120 días.	73
Tabla 27-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 20 días....	75
Tabla 28-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 40 días....	76
Tabla 29-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 80 días....	77
Tabla 30-3:	Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 120 días..	78
Tabla 31-3:	Análisis de varianza para el contenido relativo de agua.....	80
Tabla 32-3:	Análisis de varianza para la materia seca de la vaina.	81
Tabla 33-3:	Análisis de varianza para la materia seca de la planta.....	82
Tabla 34-3:	Análisis de varianza para el rendimiento en kilogramos por parcela neta.....	83
Tabla 35-3:	Comparaciones ortogonales para el rendimiento en kilogramos/parcela neta....	84
Tabla 36-3:	Análisis de varianza para el rendimiento total en kilogramos por hectárea.	85
Tabla 37-3:	Comparaciones ortogonales para el rendimiento en kilogramos por hectárea. ...	85
Tabla 38-3:	Análisis de varianza para la huella hídrica verde.	87
Tabla 39-3:	Comparaciones ortogonales para la huella hídrica verde.	88
Tabla 40-3:	Análisis de varianza para la huella hídrica azul.....	89
Tabla 41-3:	Comparaciones ortogonales para la huella hídrica azul.	89
Tabla 42-3:	Análisis de varianza para la huella hídrica de materia seca.....	90
Tabla 43-3:	Comparaciones ortogonales para la huella hídrica de materia seca.....	91
Tabla 44-3:	Análisis de varianza para la eficiencia de riego.....	92
Tabla 45-3:	Lamina de riego aplicada en cada tratamiento.	93
Tabla 46-3:	Relación beneficio-costo	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.º	Duración de etapas fenológicas en el cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) var. Canarillo mejorado.	43
Gráfico 2-3.	Ciclo de cultivo de fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Var. Canarillo mejorado.....	45
Gráfico 3-3.	Coeficiente del cultivo de fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) var. Canarillo mejorado ajustado por lisimetría.	46
Gráfico 4-3.	Coeficiente de cultivo (kc) semanal en el cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Var canarillo mejorado.	47
Gráfico 5-3.	Altura de la planta a los 20 días.	48
Gráfico 6-3.	Altura de la planta a los 40 días.	49
Gráfico 7-3.	Altura de la planta a los 80 días.	50
Gráfico 8-3.	Altura de la planta a los 120 días.	51
Gráfico 9-3.	Diámetro del tallo a los 20 días.	53
Gráfico 10-3.	Diámetro del tallo a los 40 días.	54
Gráfico 11-3.	Diámetro del tallo a los 80 días.	55
Gráfico 12-3.	Diámetro del tallo a los 120 días.	56
Gráfico 11-3.	Número de hojas a los 20 días.	57
Gráfico 14-3.	Número de hojas a los 40 días.	58
Gráfico 15-3.	Número de hojas a los 80 días.	59
Gráfico 16-3.	Número de hojas a los 120 días.	60
Gráfico 17-3.	Conductancia estomática antes del riego a los 20 días.	62
Gráfico 18-3.	Conductancia estomática antes del riego a los 40 días.	63
Gráfico 19-3.	Conductancia estomática antes del riego a los 80 días.	64
Gráfico 20-3.	Conductancia estomática antes del riego a los 120 días.	65
Gráfico 21-3.	Conductancia estomática después del riego a los 20 días.	66
Gráfico 22-3.	Conductancia estomática después del riego a los 40 días.	68
Gráfico 23-3.	Conductancia estomática después del riego a los 80 días.	69
Gráfico 24-3.	Conductancia estomática después del riego a los 120 días.	70
Gráfico 25-3.	Potencial hídrico antes del riego a los 20 días.	71
Gráfico 26-3.	Potencial hídrico antes del riego a los 40 días.	72
Gráfico 27-3.	Potencial hídrico antes del riego a los 80 días.	73
Gráfico 28-3.	Potencial hídrico antes del riego a los 120 días.	74
Gráfico 29-3.	Potencial hídrico después del riego a los 20 días.	76
Gráfico 30-3.	Potencial hídrico después del riego a los 40 días.	77
Gráfico 31-3.	Potencial hídrico después del riego a los 80 días.	78

Gráfico 32-3.	Potencial hídrico después del riego a los 120 días.....	79
Gráfico 33-3.	Contenido relativo de agua.	80
Gráfico 34-3.	Materia seca de la vaina.....	82
Gráfico 35-3.	Materia seca de la planta.....	82
Gráfico 36-3.	Rendimiento en kilogramos por parcela neta.....	84
Gráfico 37-3.	Rendimiento en kilogramos por hectárea.	85
Gráfico 38-3.	Rendimiento relativo por tratamiento considerando 10 T/ha.....	86
Gráfico 39-3.	Huella hídrica verde.....	88
Gráfico 40-3.	Huella hídrica azul.	89
Gráfico 41-3.	Huella hídrica en materia seca.	91
Gráfico 42-3.	Coefficiente de uniformidad.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Periodo de estrés en las plantas.....	11
Figura 2-1:	Esquema de eficiencia de riego en aspersión.....	25
Figura 2-2:	Velocidad del viento y ubicación de vasos	26
Figura 2-3:	Esquema de eficiencia de riego en goteo.....	27
Figura 2-4:	Colocación de vasos pluviométricos y medición.....	28
Figura 2-5:	Estructura para la eficiencia de riego en gravedad.....	28
Figura 2-6:	Medición del caudal y profundidad de infiltración.....	30
Figura 2-7:	a) Verificación de la compactación, b) Compactación del suelo	31
Figura 2-8:	% de humedad en el suelo.....	31
Figura 2-9:	Altura de la planta.....	32
Figura 2-10:	a) Papel filtro, b) Calibración del porómetro, c) conduct. estomática	33
Figura 2-11:	a) Bomba scholander, b) savia en el peciolo, c) Potencial hídrico	34
Figura 2-12:	Corte con el sacabocado y peso de la muestra.	35
Figura 2-13:	Secado en la estufa y peso de la materia seca.	35
Figura 2-14:	Tractorado con rastra	39
Figura 2-15:	Delimitación e identificación de las parcelas netas.....	39
Figura 2-16:	Presión de salida en el aspersor.....	40
Figura 2-17:	Deshierbe a los 60 días del ciclo de cultivo.....	41
Figura 2-18:	a) Riego en aspersión, b) Riego en goteo, c) Riego en gravedad.....	41
Figura 2-19:	a) Preparación, b) Bomba estacionaria, c) Aplicación de pesticidas.	41
Figura 2-20:	Llenado en sacos para la comercialización.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DISTRIBUCIÓN DEL ENSAYO
- ANEXO B:** REGISTRO DE DATOS A LOS 20 DÍAS
- ANEXO C:** REGISTRO DE DATOS A LOS 40 DÍAS.
- ANEXO D:** REGISTRO DE DATOS A LOS 60 DÍAS.
- ANEXO E:** REGISTRO DE DATOS A LOS 80 DÍAS.
- ANEXO F:** REGISTRO DE DATOS A LOS 100 DÍAS.
- ANEXO G:** REGISTRO DE DATOS A LOS 120 DÍAS.
- ANEXO H:** REGISTRO DE DATOS A LOS 140 DÍAS.
- ANEXO I:** CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%).
- ANEXO J:** MATERIA SECA DE LA VAINA (%).
- ANEXO K:** MATERIA SECA DE LA PLANTA (%).
- ANEXO M:** COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (%).
- ANEXO N:** HUELLA HÍDRICA VERDE Y AZUL.
- ANEXO Ñ:** RENDIMIENTO EN KILOGRAMOS POR HECTÁREA.
- ANEXO O:** RENDIMIENTO EN KILOGRAMOS POR PARCELA NETA.
- ANEXO P:** PESTICIDAS Y FERTILIZANTES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.
- ANEXO Q:** PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN GOTEO.
- ANEXO R:** PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN GRAVEDAD.
- ANEXO S:** PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN ASPERSIÓN.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el método de riego más eficiente y ajuste del coeficiente de cultivo (K_c) mediante lisimetría en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado en la estación experimental Tunshi. Se realizó un diseño completo al azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones los métodos de aspersión, goteo, gravedad y testigo corresponden al T1, T2, T3, T4, respectivamente; también se utilizó un bloque de tres lisímetros para determinar el ajuste de k_c . Para determinar la eficiencia de aplicación para el método de riego por goteo y aspersión se utilizó la fórmula de coeficiente de uniformidad; para el método de gravedad se determinó con el volumen infiltrado y escurrido. Se registraron datos biométricos como: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, conductancia estomática antes y después del riego, estrés hídrico antes y después del riego cada 20 días; se registró también datos de contenido relativo de agua, materia seca de la planta y en la vaina, huella hídrica verde y azul, rendimiento en kg/ha y el volumen de agua aplicado. Para el ajuste del K_c , se consideró duración de las etapas fenológicas del cultivo de fréjol, mediante el cálculo del volumen de ingreso y salida de agua dividido para el área de cada lisímetro, obteniendo la evapotranspiración de cultivo (ET_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o). Los valores k_c ajustado fueron de 0.4, 1, 1.2 0.8 para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente, goteo presentó una eficiencia de aplicación del 93 %, mayor a los otros tratamientos, obteniendo rendimientos de 10 T/ha ocupando una huella hídrica de 149.83 L/kg. Se concluye que el método de riego más eficiente para el fréjol es goteo. Se recomienda el uso de los valores obtenidos para optimizar el uso del agua.

Palabras clave: <METODOS DE RIEGO>, <EFICIENCIA DE RIEGO>, <FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L)>, <REQUERIMIENTOS HIDRICOS>, <COEFICIENTE DE CULTIVO>.


D.B.R.A.I.
Ing. Cristhian Castillo



1266-UPT-DBRA-2022

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the most efficient irrigation method and crop coefficient adjustment (Kc) by lysimetry in the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo at the Tunshi experimental station. A complete randomized design (CRD) with four treatments and three replications was used, with the sprinkler, drip, gravity, and control methods corresponding to T1, T2, T3, and T4, respectively; a block of three lysimeters was also used to determine the kc setting. To determine the application efficiency for the drip and sprinkler irrigation method, the uniformity coefficient formula was used, for the gravity method, it was established with the infiltrated and drained volume. Biometric data such as plant height, stem diameter, number of leaves, stomatal conductance before and after irrigation, water stress before and after irrigation every 20 days, relative water content, plant and pod dry matter, green and blue water footprint, yield in kg/ha and volume of water applied were also recorded. For the Kc adjustment, the duration of the phenological stages of the bean crop was considered by means of calculating the volume of water input and output divided by the area of each lysimeter, obtaining the crop evapotranspiration (ET_c) and the reference evapotranspiration (ET_0). The adjusted kc values were 0.4, 1, 1.2, and 0.8 for the initial, development, intermediate, and final stages, respectively. Drip irrigation showed an application efficiency of 93%, higher than the other treatments, obtaining yields of 10 T/ha with a water footprint of 149.83 L/kg. It was concluded that the most efficient irrigation method for beans is drip irrigation. It is recommended to use the values obtained to optimize water use.

Keywords: < IRRIGATION METHOD >, < IRRIGATION EFFICIENCY >, <BEAN (*Phaseolus vulgaris* L)>, <WATER REQUIREMENTS>, <CROP COEFFICIENT>.



Firmado electrónicamente por:
**SILVANA
PATRICIA
CELLERI QUINDE**

Silvana Patricia Céleri Quinde

C.C. 0602669830

INTRODUCCIÓN

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2020), en los cultivos transitorios en Ecuador, el fréjol seco forma el 0.90% de la producción nacional ecuatoriana, la superficie sembrada para fréjol seco fueron 19094 ha y 7591 ha para fréjol tierno. El rendimiento promedio para América del Sur, registrado en el 2019 es de 11231 kg/ha registrado en el 2019, siendo una cifra significativa para el valor del rendimiento promedio del Ecuador que es de 6141 kg/ha, valor que no supera a la media (León et al., 2022, p.3).

El factor más importante para el crecimiento adecuado de las plantas es el agua; la disponibilidad y alto costo del agua de riego, así como el uso y manejo ineficiente de este recurso se encuentran entre los principales problemas que limitan el aumento de la producción y los rendimientos de los cultivos (López et al., 2009, pp.3-5).

A través del suelo, las plantas pueden absorber todos los nutrientes que necesitan. Cuando las condiciones de humedad del suelo no suplen los requerimientos hídricos suficientes de forma natural, mediante la lluvia, es necesario incorporar sistemas alternativos. Elegir el sistema de riego apropiado es importante para que nuestro cultivo se desarrolle en condiciones óptimas y así obtener mejor rendimiento.

El sistema de riego correcto proporciona la cantidad adecuada de agua cuando se necesita y humedece el suelo a la profundidad requerida para el cultivo, el sistema de riego depende del tipo de suelo, el tipo de cultivo, la cantidad de agua requerida, los recursos humanos y económicos disponibles, el sistema de riego representa una inversión importante en la agroindustria (Campo, 2015, p. 1).

El método de riego más practicado en todo el mundo, es el riego por gravedad. Sin embargo, existen otros métodos de riego como: riego por goteo y riego por aspersión (Díaz, 2006, p. 19).

La inversión en un sistema de riego puede ser alta, pero tiene beneficios sostenibles a largo plazo, pero sobre todo aumenta el rendimiento de los cultivos (Espinoza, 2016, p. 3).

PROBLEMA

El principal problema de los agricultores de la región sierra ecuatoriana es el bajo rendimiento de sus cultivos (fréjol), que se manifiestan al momento de ser comercializadas a bajos costos, la principal razón de los bajos rendimientos es el mal manejo del agua de riego debido al

desconocimiento de la cantidad y el momento oportuno para hacer uso del agua de riego requerido en cada etapa fenológica del cultivo, reduciendo así los beneficios económicos dando paso a la inestabilidad económica.

Las consecuencias de no conocer la cantidad (cuánto) y la frecuencia (cuándo) del riego conducen a un uso insuficiente del recurso hídrico, lo que genera problemas fitosanitarios, mala calidad del producto en el mercado, menor rendimiento de los cultivos y menores ingresos económicos.

JUSTIFICACIÓN

El riego es una de las actividades más importantes en el sector agrícola donde la lluvia no puede satisfacer las necesidades de agua de los cultivos, especialmente en la producción y la dinámica de la industria relacionada y los empleos creados (Lamelas, 2015, p. 1)

Bustamante (2012, pp. 77-78) menciona que, en las condiciones más cálidas y secas que predice el cambio climático la agricultura enfrentará el desafío de aumentar la producción actual o mantenerla con menos agua mediante medidas de adaptación y la aplicación de tecnologías y sistemas de riego que permitan un uso más eficiente del agua. Los métodos de riego ayudan a mejorar el acceso de las raíces al suelo y al agua, pero dado que cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, se debe evaluar su eficiencia.

La eficiencia del riego depende de la relación entre la cantidad de agua suministrada por las raíces al suelo (agua utilizable) y la cantidad de agua de riego (agua de riego) expresada como porcentaje.

El fréjol es uno de los principales cultivos tanto de la región sierra como de la costa llevando a cabo un manejo de cultivo similar en ambas regiones dentro del manejo de cultivo interviene los requerimientos hídricos del cultivo en el que para cubrir las necesidades hídricas comúnmente se utiliza el método de riego por gravedad con una eficiencia del 50 y 60%, la eficiencia interviene de forma positiva o negativamente en el rendimiento del cultivo, es por eso que la investigación está ampliamente basada en la eficiencia de diferentes métodos de riego y en los requerimientos hídricos del cultivo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el método de riego más eficiente en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado y ajuste del (Kc) mediante lisimetría.

Objetivos específicos

Analizar la eficiencia de aplicación de 3 métodos de riego (aspersión, gravedad, goteo) frente a un testigo sin riego.

Construir curvas de Kc mediante la utilización de lisímetros de drenaje de acuerdo con las etapas fenológicas del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. canarillo mejorado.

Determinar la huella hídrica (azul y verde).

Realizar el análisis económico a través de la relación beneficio-costos.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

Ningún método de riego influye en el rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado.

Hipótesis alterna

Al menos uno de los métodos de riego influye en el rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Recurso hídrico

El riego se ha utilizado durante siglos para impulsar la producción agrícola, para compensar la escasez de agua en áreas donde la lluvia es escasa o se distribuye de manera desigual en el tiempo (Martínez, 2014, p 6).

Ecuador tiene un rápido crecimiento poblacional y por eso la agricultura tiene que ser cada día más intensiva para poder alimentar a más personas, y el riego es un factor de eficiencia que nos permitirá mejorar los rendimientos. En otras palabras, la producción agrícola depende más que antes del riego debido al cambio climático global (Galarraga, 2010, p 8).

1.1.1. Importancia de riego en el cultivo

La importancia del riego radica en el significativo aumento de la producción agrícola y la generación de empleo, debido a que las plantas, son organismos vivos, necesitan agua para sobrevivir. A través del agua en el suelo, las plantas toman nutrientes y realizan diversas funciones fisiológicas en presencia de agua (Raes et al., 2012, p. 361).

La actividad más importante que se practica en un cultivo de manera constante es el riego, su importancia radica de acuerdo al clima, existiendo diferencias, tanto en volúmenes y frecuencias para zonas secas y zonas áridas (Raes et al., 2012, p. 361).

Es suministrar artificialmente la cantidad de agua necesaria al suelo para completar la evapotranspiración y para el crecimiento y desarrollo de las plantas cuando no puede ser proporcionada por la lluvia es uno de los principales propósitos del riego. Otro objetivo primordial es contribuir a la existencia humana sobre la base de la producción agrícola (Martínez, 2014, p. 16).

1.1.2. Requerimientos hídricos

Los requerimientos de riego varían según el consumo, la precipitación, la capacidad de almacenamiento de agua y otros factores, en un período determinado, la diferencia entre el consumo real y la precipitación determinará la lámina neta de riego que debe ser aplicada al suelo. La cantidad de agua que trae la lluvia está entre el 0 y el 100% del consumo. Las plantas absorben

el agua del suelo a través de sus raíces. Tanto el suelo como las plantas se ven afectados por la lluvia, el sol y el viento, lo que conduce a la evaporación y transpiración del suelo de una forma u otra (Calvache, 1993 citado por León, 2018, p. 4).

En climas cálidos, ventosos y secos, la evapotranspiración de las plantas es mayor que en climas fríos. Esto se manifiesta con los valores de k_c presentados para diferentes condiciones climáticas (FAO, 2014 citado por León, 2018, p. 4).

1.2. Riego

1.2.1. El agua en el suelo

Dado que las plantas siempre necesitan agua y las precipitaciones varían, en algunos casos es necesario proporcionar agua artificialmente a las plantas para su correcto crecimiento o para aumentar su producción (Martínez, 2014, p. 16).

El riego consume la mayor parte del agua extraída (generalmente la mitad o más) por evaporación, incorporación a los tejidos vegetales y transpiración de las plantas (FAO, 2014 citado por León, 2018, p. 4).

1.2.1.1. Clasificación del agua en el suelo

Capacidad de campo (CC): Es la cantidad máxima de agua retenida por un suelo en contra de la fuerza de la gravedad, después de ser saturado. Cuando un suelo se encuentra a capacidad de campo, el agua es retenida en los poros capilares, facilitando las condiciones en que la planta puede absorber (Cadena, 2016, p. 40). Cuando la tensión del agua en el suelo es o está cerca de 0.3 bars en suelos arcillosos o de 0.1 bares en suelos de textura media el suelo se encuentra a capacidad de campo (León, 2016 citado por (Salazar, 2020, p. 13).

Punto de marchitez permanente (PMP): es la humedad del suelo que las plantas no pueden absorber para compensar las necesidades de transpiración presentándose con síntomas de marchitez, defoliación y un desarrollo desfavorable (Hidalgo, 2008, p. 16).

Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (Enciso, 2005, p. 2).

Agua útil (AU): Es la cantidad de agua entre los valores de la capacidad de campo (0,33 bar) y el punto de marchitez permanente (15 bar) e incluye la humedad del suelo que puede utilizar la planta (Fuente, 2006, p. 3).

1.2.1.2. Métodos para medir el agua en el suelo

Para determinar el contenido de agua del suelo, se utilizan métodos más precisos, siendo estos el método gravimétrico, el uso de tensiómetros y bloques de yeso (Chávez, 2018, p. 6).

Gravimétrico: Determina el contenido de agua de una muestra de suelo por secado, se toma una muestra de suelo (100-200 g) con un barreno, a la profundidad requerida, determinamos el peso húmedo y luego dejar en la estufa a una temperatura de 105 ° C durante 24 horas, luego se determina el peso seco (Rivera, et al. 2010 citado por Chávez, 2018, p. 8).

El contenido total de agua de la muestra se obtiene con la siguiente ecuación (1):

$$\% H = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Dónde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda

PSS = Peso de la muestra seca, muestra de suelo pesado después de colocar en la estufa (105°C) durante 24 horas (Enciso, 2005, p. 2).

Tabla 1-1: Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.

TEXTURA	CC	PMP	AU	
Arenoso		9%	2%	7%
Franco arenoso		14%	4%	10%
Franco		34%	12%	22%
Arcilloso		38%	34%	14%

Fuente: INTAGRI, 2017

Tensiómetros: es un instrumento que sirve para medir el potencial mátrico, en otras palabras, la tensión con la que el agua se adhiere a las partículas del suelo, y se ajusta teniendo en cuenta algunos factores como la profundidad de las raíces de las plantas, el tipo de suelo y la topografía del suelo del área y el sistema de riego por medio del cual cubren las necesidades hídricas del cultivo (Chávez, 2018, p. 9).

Tabla 2-1: Rangos de tensión en el agua del suelo y su interpretación.

Tensión centibares	Interpretación
0-5	El suelo demasiado húmedo para la mayoría de los cultivos
10-25	Contenido de agua y de aireación ideales para la totalidad de cultivos, riego no requerido
25-40	Contenido de agua adecuado para muchos cultivos, excepto para los de raíces someras, y/o en suelos arenosos, riego depende de la condición del suelo y planta
40-50	Agua adecuada para los cultivos con sistemas radiculares medianamente profundos en suelos de textura media
50-70	Agua adecuada para cultivos con raíces profundas
70-80	Riego recomendado para la mayoría de los cultivos en cualquier tipo de suelo
¾ 80	El riego es necesario, excepto si se requiere de estrés al cultivo

Fuente: (CONGOPE 2017)

1.2.2. Métodos de riego

1.2.2.1. Riego por gravedad

El riego por gravedad es el método de riego más antiguo y más utilizado mundialmente, en el que el agua fluye según su propio peso y se distribuye por el área cultivada (Cadena, 2016, p. 174).

Según Díaz (2006, p. 19), el método consiste en derivar el agua de una fuente de agua superficial a través de una obra de captación y transportar por medio de canales principales o secundarios, hasta llegar a las parcelas individuales.

Tabla 3-1: Ventajas y desventajas del riego por gravedad

Ventajas	Desventaja
El agua no llega a la parte foliar por lo que previene enfermedades.	Desperdicia una gran cantidad de agua.
Se puede realizar en el día o en la noche sin importar el viento.	No se puede aplicar en terrenos perfectamente planos o en pendientes pronunciadas.
Bajo costo de instalación, ya que no se requiere entrada de energía.	Requiere más labranza, con mayor costo de mano de obra.
Excelente poder de lavado de la sal.	Necesita grandes volúmenes de agua. Pérdida de la fertilidad del suelo.

Fuente: (Agroware, 2016)

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

1.2.2.2. Riego por aspersión

Este método apareció a principios del siglo XX como una necesidad de incrementar nuevos espacios de producción, áreas que no podían ser irrigadas por los métodos tradicionales, debido a

la ubicación de las áreas que están por encima de la fuente de agua, y tienen pendientes pronunciadas, o porque son parcelas con una atenuación muy inusual (Cadena, 2016, p. 200).

Un sistema de riego por aspersión está constituido por una red de tuberías o tubos con emisores conectados que distribuyen agua al cultivo en forma de lluvia simulada, lo más uniformemente posible sobre el campo (García, 2007, p. 64).

Tabla 4-1: Ventajas y desventajas del riego por aspersión.

Ventajas	Desventajas
Se adapta a suelos poco profundos, donde las láminas de riego pueden variar según la textura, lo que significa que se utiliza menos agua en cada riego.	Aumenta el daño a los cultivos al desarrollar un ambiente ideal para que existan enfermedades.
Los suelos arenosos se pueden regar sin pérdidas significativas por infiltración	El impacto del agua sobre las flores puede hacer que se caigan y reducir el rendimiento.
Permite la aplicación de fertilizantes con agua de riego, lo que ahorra mano de obra y distribuye los productos aplicados de manera eficiente.	El viento dificulta el reparto uniforme del agua ya que distorsiona el área de humedecimiento.
La eficiencia del riego por aspersión es alta (70 a 85%).	Con agua salina se provoca el quemado y la caída de las hojas.

Fuente: (Laverde, 2016).

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

1.2.2.3. Riego por goteo

Se dice que el riego por goteo es un "riego de bajo caudal destinado a dar exactamente la cantidad de agua perdida en el cultivo". También se dice que es "un sistema de hidratación del suelo limitado que proporciona agua solo para una fracción del volumen de suelo ocupado por las plantas". Este concepto significa que dependiendo del suelo y el gotero utilizado, la forma del sistema radicular será diferente (Cadena, 2016, p. 231).

Tabla 5-1: Ventajas y desventajas del riego por goteo.

Ventajas	Desventajas
Existe ahorro del agua de riego	Requiere de una elevada inversión inicial.
Se obtiene mayor rendimiento.	Como las aplicaciones del agua son menores, la planta puede sufrir un estrés hídrico con mayor facilidad.
La planta absorbe el agua en forma fácil y rápida.	No les protege a los cultivos sensibles a las heladas.
La nutrición de la planta se hace en el riego.	No se puede lavar los suelos con este sistema.
Dificulta la aparición de malas hierbas.	
Funcionan con bajas presiones en las líneas laterales.	
Su nivel de eficiencia alcanza un 90%-95 %.	

Fuente: (GOYAL R, 2000).

1.2.3. Programación del riego para los cultivos

El propósito de la programación de riego es ahorrar agua sin reducir los rendimientos (Cadena, 2016, p. 93). La programación del riego es una metodología para determinar el nivel óptimo de riego que se aplicará a los cultivos. Esto incluye ajustar la frecuencia (¿cuándo regar?) Y la duración del riego (¿cuánto?) De acuerdo con las condiciones climáticas de la propiedad. La programación de riego adecuada optimiza el uso del agua y maximiza el rendimiento y la calidad de los cultivos. La programación del riego es el proceso de determinar el tiempo de riego apropiado y la cantidad de agua para las planta (Catalán, 2007, p. 4).

1.2.4. Riego tecnificado

Se refiere al uso eficiente del agua, basado en el uso de tecnología adecuada a favor de la agricultura; está diseñado para saber cuándo, cuánto y cómo regar, lo que permite la aplicación segura de agua y fertilizantes a las plantas (Apaza, 2016, p. 18).

1.3. Coeficiente de cultivo (kc)

Se denomina como un factor adimensional al coeficiente de cultivo con el que se determina el consumo de agua máximo del cultivo, además el manejo del riego juega un papel fundamental, debido al mayor espaciamiento entre riegos tiene un impacto restrictivo sobre el consumo de agua es mayor (Catalán, 2007, p. 6).

El término también se conoce como uso consuntivo o demanda de agua. La cantidad de agua que se pierde por evaporación y transpiración se debe al efecto combinado de los dos, ya que están interrelacionados. La transpiración puede verse afectada por la evaporación del agua del suelo, y la evaporación del agua del suelo se ve afectada por el grado de vegetación disponible y la disponibilidad de humedad en el suelo cerca de la superficie (Doorenbos, 1976, p. 7).

1.3.1. Fenología

La fenología es el estudio o ciencia de los fenómenos periódicos de los organismos vivos relacionados con la marcha anual de los elementos meteorológicos y es considerada como una rama de la Ecología (Yzarra, 2011, p. 10).

La importancia de esta ciencia es que se relaciona con el cambio climático, especialmente la variación de temperatura, su ubicación geográfica y, por supuesto, a las especies agrícolas en estudio (variedades) (Martínez, 2017, pp. 3-4).

1.3.2. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Ekanayake (1994, p. 20), define la evapotranspiración potencial (Ep) como la tasa máxima a la cual se eliminará el agua de las superficies del suelo y de las plantas.

Así mismo Hidalgo (2008, p. 20) indica que, ET_o es un concepto bien definido para referirse a la cantidad (dependiente de las condiciones climáticas) de agua transportada a la atmósfera desde un suelo húmedo, cubierto con un cultivo de referencia.

1.3.3. Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La evapotranspiración o demanda de agua (consumo) de las plantas es el agua utilizada por la evapotranspiración de las plantas además del agua que se evapora directamente de la superficie del suelo. Suele medirse en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre los factores climáticos, la vegetación, el fitoplancton y el manejo del cultivo (Hurtado, 2002, p. 428)

La cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida por evapotranspiración se define como el requerimiento de agua de la planta. Aumenta gradualmente a medida que la planta crece en altura y área foliar, alcanza su máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye gradualmente hasta la etapa de cosecha. Así, la evapotranspiración vegetal (ET_c) varía principalmente en función de la condición morfológica del cultivo y el clima. (FAO, 2006, p. 14).

1.4. Relaciones hídricas de la planta

Debido a la incapacidad de las plantas al movimiento están sometidas al estrés del medio ambiente, debido a que el ambiente es muy cambiante este influye de manera negativa al desarrollo óptimo de las plantas y por esta razón la planta ha desarrollado mecanismos de autodefensa que le permiten sobrevivir. Dentro de los mecanismos para el estrés hídrico es la tolerancia o resistencia y que va en función al tiempo e intensidad al que está sometida la planta (Azcón-Bieto & Talón, 2013, p. 579).



Figura 1-1: Periodo de estrés en las plantas.

Fuente: (Azcón-Bieto & Talón, 2013, p. 579)

1.4.1. Conductancia estomática

La conductancia estomática valora la tasa de intercambio gaseoso del dióxido de carbono y la pérdida de agua o transpiración a través de los estomas de la hoja, es decir mide el grado de resistencia física al movimiento de gases entre el ambiente y el interior de la hoja. La conductancia estomática se rige por la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas. Cuando la gran mayoría de estomas están abiertos se tiene una mayor conductancia estomática, lo que indica más actividad fotosintética y transpiración (Pask, A. et al. 2013, p. 21).

1.4.1.1. Porómetro de hoja (Meter SC-1)

El porómetro de hoja usa la técnica del estado estacionario que mide la presión y flujo de vapor sobre un plano de la hoja, tiene una cámara con recorrido de difusión conocido entre dos puntos y calcula el flujo y gradiente con medidas como $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $\text{m}^2/\text{s mol}^{-1}$, s/m . Se obtienen medidas de forma automática en alrededor de 30 segundos y va a depender del estado del clima al momento de la lectura (Pino, E. et al. 2019, p. 4).

1.4.2. Potencial xilemático

Uno de los parámetros fisiológicos más afectados por el estrés hídrico es el potencial xilemático, que está relacionada con la tensión del agua en el xilema de la planta y es medido generalmente en mega pascales (MPa), los valores son negativos porque el agua retenida se encuentra a

presiones inferiores a la atmosférica. Durante la evolución del día, la tensión de la savia aumenta debido a una mayor demanda evaporativa de la atmosfera y como consecuencia el potencial xilemático disminuye hasta llegar al medio día donde se obtiene el potencial mínimo y a su valor más alto en el amanecer, cuando no hay evaporación, por lo que la lectura ideal es durante las 2 pm a 4 pm (Maldonado, I, & Aravena, R. 2006, pp. 244-245).

1.4.2.1. Bomba scholander (modelo de pie)

El potencial xilemático se lo puede obtener con una cámara de presión evaluando las hojas sombreadas que se las cubre con bolsas plásticas y papel aluminio. Se la realiza en días despejados en horas del mediodía, donde hay una mayor demanda atmosférica. Se diferencia del modelo tradicional al no contar con un tanque de nitrógeno para generar presión, además de ser practica para determinar el estado hídrico de la planta (Pavez, R. et al. 2011, p. 3).

1.5. Eficiencia de riego

El riego planificado debe garantizar una saturación completa y uniforme de la capa de raíces en toda la superficie de la parcela. La distribución desigual de la humedad conduce a un crecimiento desigual de la planta y, en consecuencia, a su producción (Díaz, 2006, p. 57).

1.5.1. Riego por goteo

1.5.1.1. Cálculo de la eficiencia

La Uniformidad de la distribución (UD) es una medida uniforme donde es aplicada el agua en el campo durante el riego, siendo esta expresada en porcentaje entre 0 y 100%. Una UD inferior al 70% es considerada deficiente, UD entre 70 y 90% es buena, y UD superior al 90% es excelente (Rain Bird Corporation 2010, citado por Franco, 2018, p. 18)

Para determinar el UD, se aplicó la formula (2) descrita por (Vargas 2008, citado por Franco, 2018, p. 18).

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \times 100$$

Dónde:

CU: coeficiente de uniformidad

q₂₅: Caudal medio recibido por el 25% de las plantas que recibieron menos caudal

q_a : Caudal medio recibido por todas las plantas.

Tabla 6-1: Interpretación de CU

Coefficiente de uniformidad	Interpretación
90% a mas	Uniformidad excelente
70% - 90%	Uniformidad buena
Menos del 70%	Uniformidad deficiente

Fuente: (Franco, 2018, p. 18)

1.5.2. Riego por aspersión

1.4.2.2. Cálculo de la eficiencia

La eficiencia se refiere a la relación entre la cantidad de agua realmente aprovechada por las plantas (en la zona radicular) y el volumen aplicado con el riego. Mientras mayor sea el volumen aplicado y la cantidad almacenada en las raíces sea menor la eficiencia de aplicación es baja; pero si la mayoría del agua aplicada es realmente aprovechada y utilizada por la zona radicular la eficiencia será mayor (y el riego será más eficiente) (Fernández et al. 2010, p. 59)

Para dicho cálculo se procede a colocar vasos pluviométricos o normales de unos 12 cm de diámetro y bordes finos en el suelo del área que cubren los aspersores, para luego abrir el sistema de riego, se mide el volumen recogido en los vasos, luego sacar los promedios de los vasos recogidos (V_m), un promedio de los volúmenes en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua (V_{25}) (Gómez, Gutiérrez y Bernal 2010), para finalmente aplicar la siguiente formula:

$$CU = \frac{V_{25\%}}{V_m} \times 100$$

1.5.3. Riego por gravedad

1.5.3.1. Calculo de la eficiencia

1.5.3.2. Eficiencia de riego en gravedad

Para determinar la eficiencia en el método de riego por gravedad, se utilizó la relación escorrentía-filtración, utilizando la formula (3) descrita por (Fernández et al. 2010, pp. 64-68).

Eficiencia de riego por gravedad = 100 – relación de escorrentía – relación de filtración

Dónde:

Relación de escorrentía: volumen escurrido al final del surco sobre volumen total aplicado multiplicado por 100.

Relación de filtración: volumen de agua retenida en el suelo sobre el volumen de agua aplicado multiplicado por 100 (Fernández et al. 2010, pp. 64-68).

1.6. Diseño agronómico

El diseño agronómico implica calcular todos los parámetros necesarios para que el sistema de riego pueda suministrar agua a las plantas de manera eficiente durante los períodos de mayor necesidad, es decir, cuánta agua necesitan las plantas para su desarrollo normal sin sufrir un déficit hídrico (INTAGRI, 2019, p.2)

El diseño agronómico consiste en garantizar el suministro de las necesidades hídricas del cultivo en la etapa de mayor demanda, garantizando un crecimiento y desarrollo adecuado del cultivo, con una eficiencia de aplicación buena. (Pascual, 2020, p. 402)

1.6.1. Lámina neta (L_n) y bruta (L_b)

Se refiere a la cantidad de agua utilizable para la planta en el suelo y se la calcula mediante:

$$(4) L_n = \text{umbral} * A_u$$

L_n : lámina neta (mm), Umbral: Umbral de riego, A_u : Agua útil o lamina total de agua disponible por las plantas en las raíces (León, 2012, p.45).

La lámina bruta de riego es la cantidad de agua que aplicaremos al cultivo y se resuelve mediante:

$$(5) L_b = \frac{ET_c \times FR}{E_f}$$

Dónde:

L_b : lámina bruta de riego (mm), FR: frecuencia de riego, ET_c : evapotranspiración del cultivo (mm/día), E_f : eficiencia de aplicación del agua (%) (León, 2012, p.45).

1.6.2. Frecuencia de riego

Para Cadena (2016, p. 106) la frecuencia de riego es el número de días que pasa, después de realizar el primer y segundo riego continuamente. Se determina aplicando la siguiente formula

$$(6) FR = \frac{Ln}{ETc}$$

Dónde:

Fr: frecuencia de riego (días), Ln: lamina neta de riego (mm), Etc día: evapotranspiración del cultivo (mm) (León, 2012, p.45).

1.6.3. Volumen de riego

Para determinar el volumen de riego se aplica la siguiente formula:

$$(7) V = Lb * \text{Área}$$

Dónde:

V= Volumen de riego a aplicar (mm/ha).

Lb= Lámina bruta de riego (mm).

Área cultivada (ha) (León, 2012, p.45).

1.7. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico se va a referir a las conducciones y elementos necesarios para suministrar agua a los emisores de riego. De la misma manera tratara la distribución del agua en los sistemas de riego, goteo, microaspersión, o aspersión, para su correcto funcionamiento. Los cálculos hidráulicos para todos los riegos son iguales. Así mismo se estudian las partes y elementos que forman parte de un sistema de riego: tuberías, válvulas, etc. (Martínez, 2014: p. 110).

1.8. Lisímetros de drenaje

Son recipientes formados por una parte del suelo (alterado o no alterado) cultivado, con fines de estudios de evapotranspiración. La evapotranspiración ocurrida en un tiempo determinado puede ser calculada a través de lisímetros de pesaje, basado en el peso del agua consumida mediante la pérdida de peso entre aplicaciones de agua de riego, o por un lisímetro de drenaje, basado en el balance de entradas y salidas de agua (García, 2002, citado por Gaibor 2019, pp. 22-23)

Se conoce como lisímetro, a estructuras grandes, llenos de suelo, que simulan las características edafoclimáticas de un suelo normal, donde las condiciones agua-suelo-planta son controladas y

reguladas en otras palabras, es un instrumento utilizado para ajustar la confiabilidad de los procedimientos empíricos (León, 2016, p. 5)

El único método disponible para medir de forma directa y continua la humedad disponible en un suelo, es el lisímetro. Dichos instrumentos proveen el método de campo más fiable para determinar la evapotranspiración (Salisbury, 2000 citado por Gaibor 2019, p.23).

Según la FAO (2006, p. 5), en lisímetros de drenaje, para determinar la evapotranspiración en tiempo real se resta la cantidad de agua drenada, de la cantidad total de agua aplicada.

1.9. Huella hídrica

Según Water Footprint Network (2017, p. 5), la huella hídrica de cualquier bien o servicio, se refiere al volumen de agua utilizada de forma directa e indirectamente para producir un bien o servicio, sumando la cantidad total de la fase productiva, es decir la huella hídrica de un individuo, empresa o nación es el volumen total de agua necesaria, que pueden ser producidos, consumidos o exportados por las personas, las empresas o los países (López 2018, p. 6).

1.9.1. Huella hídrica azul

Se conoce como Huella Hídrica azul a la cantidad de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, o comúnmente conocida como agua proveniente de un sistema de riego, que es consumido para producción de bienes y servicios, satisfaciendo las necesidades hídricas de un cultivo, que no pueden ser suplidas a través de las precipitaciones (López 2018, p. 8).

1.9.2. Huella hídrica verde

La huella hídrica verde hace referencia al volumen de agua aportada por las precipitaciones, que se acumula en los sedimentos superficiales, satisfaciendo las necesidades hídricas de los cultivos, regresando a la atmosfera a través de los procesos de evapotranspiración (López 2018, p. 8).

1.10. Cultivo de fréjol

1.10.1. Importancia

Se conoce como la leguminosa de grano de consumo humano más importante en el planeta; mundialmente ocupa el octavo lugar entre las leguminosas sembradas. Para la población ecuatoriana es una fuente rica en minerales como el hierro y calcio, complejo B, fibra y antioxidantes, constituyendo una de las principales fuentes de proteína y carbohidratos (Torres et al., 2013, p. 1). Los principales productores de fréjol, en países de Latinoamérica y África, son pequeños agricultores cuyas áreas de cultivo son menores a una hectárea. (SICAMAG, 2000).

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2020), en los cultivos transitorios en Ecuador, el fréjol seco forma el 0.90% de la producción nacional ecuatoriana, la superficie sembrada para fréjol seco fueron 19094 ha y 7591 ha para fréjol tierno. El rendimiento promedio para América del Sur, registrado en el 2019 es de 11231 kg/ha registrado en el 2019, siendo una cifra significativa para el valor del rendimiento promedio del Ecuador que es de 6141 kg/ha, valor que no supera a la media (León, et al., 2022, p. 3).

1.10.2. Taxonomía

Según Valladares (2010), la clasificación taxonómica del fréjol se detalla de la siguiente manera:

Tabla 7-1: Descripción taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Género:	Phaseolus
Especie:	<i>P. vulgaris</i>
Nombre binomial:	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Nombres comunes:	fréjol, fríjol, poroto, habichuela, judía, ejote, alubia, caraota

Fuente: Valladares (2010)

1.10.3. Morfología

Tabla 8-1: Descripción morfológica.

Descripción

Raíz	La composición y tamaño del sistema radicular del fréjol depende de las características del suelo. (CIAT, 1984).
Tallo	Agro itesm (2010) considera que el tallo puede ser identificado como el eje central de la planta, y está formado por una sucesión de nudos y entrenudos.
Hojas	Las hojas compuestas trifoliadas son las hojas características del fréjol, poseen tres folíolos, un peciolo y un raquis. (Andino, 2011).
Flores	Las flores están dispuestas en grupos, ubicadas en las axilas de las hojas, el color varía del blanco al morado. (Araujo, 2008).
Fruto	El fruto es una vaina, que puede ser de diferente color, uniforme o rayado, según la variedad (CIAT, 2012).

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

1.10.4. Fenología

El Centro Internacional de Agricultura Tropical —CIAT— ha establecido una escala para diferenciar las etapas de desarrollo del fréjol. El ciclo biológico de la planta de fréjol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva.

Tabla 8-1: Fenología del frejol.

Fenología	Descripción
Etapas V0 (Germinación)	La semilla absorbe agua e induce la división celular y reacciones bioquímicas que liberan nutrientes del cotiledón.
Etapas V1 (Emergencia)	Se inicia cuando los cotiledones aparecen a nivel del suelo.
Etapas V2 (Hojas primarias).	Comienza cuando se abren las hojas primarias de la planta. En esta etapa comienza el rápido crecimiento vegetativo de la planta, en la que se forman el tallo, las ramas y las hojas trifoliadas.
Etapas V3 (Primera hoja trifoliada).	Se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana.
Etapas V4 (Tercera hoja trifoliada).	Esta etapa comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada.
Etapas R5 (prefloración).	La etapa R5 se inicia cuando aparece el primer botón o el primer racimo floral.
Etapas R6 (Floración).	La etapa R6 se inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta. La primera flor abierta corresponde al primer botón floral que apareció.
Etapas R7 (Formación de las vainas).	En una planta, esta etapa se inicia cuando aparece la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida.

Etapa R8 (Llenado de las vainas)	Comienza entonces el crecimiento activo de las semillas. Al final de esta etapa los granos pierden su color verde, así comienzan a adquirir las características de la variedad.
Etapa R9 (Maduración).	Esta etapa es la última de la escala de desarrollo, ya que en ella ocurre la maduración del cultivo. Se caracteriza por la maduración y secado de las vainas.

Fuente: (CIAT, 1982)

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

1.10.5. Manejo de cultivo

1.10.5.1. Preparación del suelo

Un rendimiento mayor o menor de fréjol comienza con una preparación adecuada del suelo. La siembra de fréjol es recomendable para suelos sueltos y con buen drenaje, buen contenido de materia orgánica, y con profundidad superior a los 30 cm (Rosas, 2003, p. 19).

1.10.5.2. Fertilización

Cuando el suelo no es fértil o "pobre", es necesario incorporar nutrientes a través de la fertilización que proporcionará los nutrientes necesarios para que las plantas crezcan y se desarrollen bien y mejoren los rendimientos (Rosas, 2003, p. 21).

El fréjol absorbe grandes cantidades de N, K y Ca, y pequeñas cantidades de S, Mg y P.

Tabla 9-1: Requerimientos nutricionales de cultivo de fréjol

Componentes del cultivo	kg/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Vainas	32	4	22	4	4	10
Tallos	65	5	71	50	14	15
Total	97	9	93	54	18	25

Fuente: (Flor, 1985)

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

1.10.5.3. Manejo de malezas

El período crítico para la competencia de malezas se extiende desde el primer día hasta 25-30 días después de la aparición de las primeras plantas.

1.10.5.4. Plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades del cultivo varían de una región a otra, dependiendo de las condiciones climáticas, variedad y calidad de semilla; las enfermedades que limitan el rendimiento de cultivo son: antracnosis, la mancha gris, mildiu polvoso, *ascochyta* y la roya; la plaga que más limitante es *Empoasca sp* (Schwartz, H. y Gálvez, J. 1980, citado por Gaibor, 2019, pp, 45,46).

1.10.5.5. Cosecha

Se realiza cuando la vaina se ha llenado totalmente, después de la siembra.

1.10.6. Requerimientos edafoclimáticos

La planta de fréjol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son franco arcilloso y franco arenoso, crece bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, requiere de 400 a 500 mm de agua bien distribuida, el pH óptimo fluctúa entre 6.5 y 7.5; dentro de este límite la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. (Guamán, 2003, p. 30).

1.10.7. Requerimientos hídricos

Las necesidades de agua de una planta dependen de varios factores, como el clima (temperatura y humedad relativa), el suelo (textura, densidad, porosidad, drenaje y topografía) y la variedad. En el caso del fréjol, los cultivares tendrán diferentes requerimientos de agua, dependiendo de la duración del período vegetativo y el hábito de crecimiento (Allen et al., 2006, p. 48).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Características del área experimental

2.1.1. Localización

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Tunshi en el Centro Experimental del Riego (CER) de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tabla 1-2: Características de la zona de estudio

Ubicación geográfica	
Altitud	2821 msnm
Latitud	1°39'18,82''S
Longitud	78°40'39,99''
Condiciones climáticas	
Precipitaciones	350 mm/año
Temperatura	13.5 °C
Humedad relativa	66.4 %

Fuente: Salazar, 2020.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

2.1.2. Clasificación ecológica

Para la clasificación ecológica se tomó como referencia la bibliografía citada por (Gaibor, 2019, p. 50), donde dice que, según Holdrige (1982) la localidad en estudio pertenece a estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB)

2.1.3. Especificaciones del ensayo

2.1.3.1. Parcela experimental

Número de tratamientos: 4

Número de repeticiones: 3

Número de unidades experimentales: 12

2.1.3.2. Unidad experimental

Ancho de la parcela: 34 m

Largo de la parcela: 39 m

Distancia entre parcelas: 1 m

Área de la parcela: 1326 m²

Área de unidades experimentales: 132 m²

Distancia de siembra:

Entre plantas: 40 cm

Entre hileras: 50 cm

Semillas por golpe: 3

Número de plantas por tratamientos: 19992

Número de plantas por unidad experimental: 10

2.1.4. Diseño experimental

2.1.4.1. Características del diseño

Se empleó un diseño completo al azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones.

2.1.4.2. Esquema del análisis de varianza

Tabla 2-2: Análisis de varianza

Fuente de variación	DCA	GI
Tratamientos	$r - 1$	3
Error	$r (r - 1)$	8
Total	$Tr - 1$	11

Realizado por: Vizuite, 2022

2.1.4.3. Análisis funcional

Para realizar el análisis funcional se tomó en cuenta las diferencias que existen entre tratamientos, donde se aplicaron Tukey al 5% cuando son estadísticamente significativas, realizando también comparaciones ortogonales.

2.1.4.4. Análisis económico

Para determinar el análisis económico se utilizó la relación beneficio/costo de los tratamientos.

2.2. Equipos y materiales

2.2.1. Material biológico

Semilla de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad canarillo mejorado.

2.2.2. Materiales de campo y equipos de laboratorio

Estacas, piolas, azadones, carretillas, bombas de motor, tractor, barreno, flexómetro, cajas metálicas, estufa, probeta, balde con medida de 20 L, estación meteorológica, balanza electrónica, Sistema de riego por goteo, aspersión, gravedad, lisímetros de drenaje, fertilizantes, insecticidas, fungicidas, herbicidas, penetrómetro, porómetro, bomba scholander, calibrador manual, tensiómetros de 15 cm de profundidad, rótulos para cada unidad experimental, libreta de campo.

2.2.3. *Materiales de oficina*

Computadora, hojas papel bond, regla, esferos, libreta, Lápiz, borrador.

2.3. Métodos

2.3.1. *Eficiencia de riego*

En cada método se realizó 3 veces las prácticas para determinar la eficiencia de riego.

2.3.1.1. *Eficiencia de riego en aspersión*

Para determinar la eficiencia, es necesario, que el sistema de riego cubra totalmente la superficie de vegetación, cuando existen fallas en el sistema, se genera una baja uniformidad provocando que en algunas áreas no llegue suficiente agua.

Para lo cual se calculó el coeficiente de uniformidad descrito por (León, 2012), en la que se utilizó herramientas y equipos como vasos pluviométricos, manómetro, baldes calibrados, Anemómetro, equipo de aspersión, mangueras y cronometro.

La distribución de los vasos pluviométricos se la realizo cada 2 x 2 m en el área del ensayo asi como se muestra en el siguiente esquema.

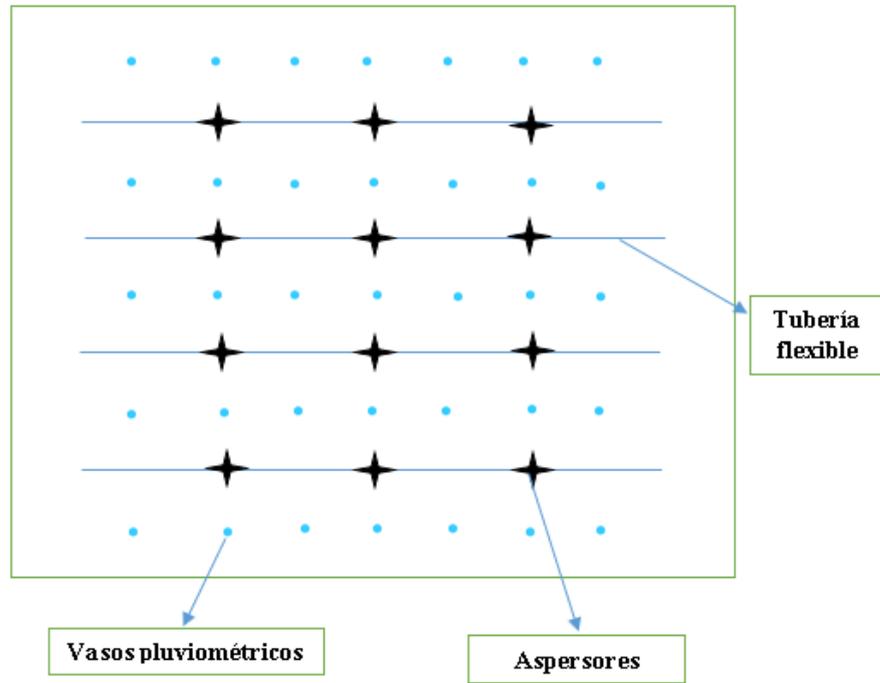


Figura 2-1. Esquema de eficiencia de riego en aspersión.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Tabla 3-2: Datos registrados en campo para aspersión

Registro de datos	
Lamina de riego	11.1 mm
Tiempo de riego	88 min
Presión en cabezal	38 psi
Presión en aspersor	35 psi
Velocidad del viento	3.8 m/s
Caudal del aspersor	3.78 L/m
Altura del aspersor	88.5 cm

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Tabla 4-2: Volúmenes retenidos en los vasos pluviométricos de aspersión

Datos ordenados de menor a mayor					
Muestra	cm	Muestra	cm	Muestra	cm
38	8	1	12	33	12
2	10	4	12	34	12
3	10	6	12	39	12
5	10	7	12	41	12
12	10	8	12	42	12
14	10	9	12	43	12

16	10	13	12	10	14
17	10	15	12	24	14
19	10	18	12	30	14
22	10	20	12	36	14
23	10	21	12	40	14
27	10	25	12	44	14
28	10	26	12	11	16
29	10	31	12	35	16
37	10	32	12	Promedio	9.82

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Luego de haber obtenido los datos se promedia el 25% de los vasos que obtuvieron menor volumen de agua ($V_{25\%}$) y se hace un promedio general del total de vasos (V_m), luego se aplica la formula.

$$(2)CU = \frac{V_{25\%}}{V_m} \times 100$$

$$CU = \frac{9.82 \text{ cm}}{11.7 \text{ cm}} \times 100$$

Coefficiente de uniformidad = 83.9%



Figura 2-2. Velocidad del viento y ubicación de vasos

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.3.1.2. Eficiencia de riego en goteo

Para determinar el coeficiente de uniformidad en los emisores (goteros), se utilizo el siguiente procesos descrito a continuacion.

Se seleccionaron 3 cintas de riego sin tomar en cuenta los bordes, dejando un borde de 5 metros en el inicio de la cinta y 4 metros al final de la cinta, para luego ubicar 15 vasos pequeños en cada gotero apartados en 3 grupos, se lo describe en el siguiente esquema.

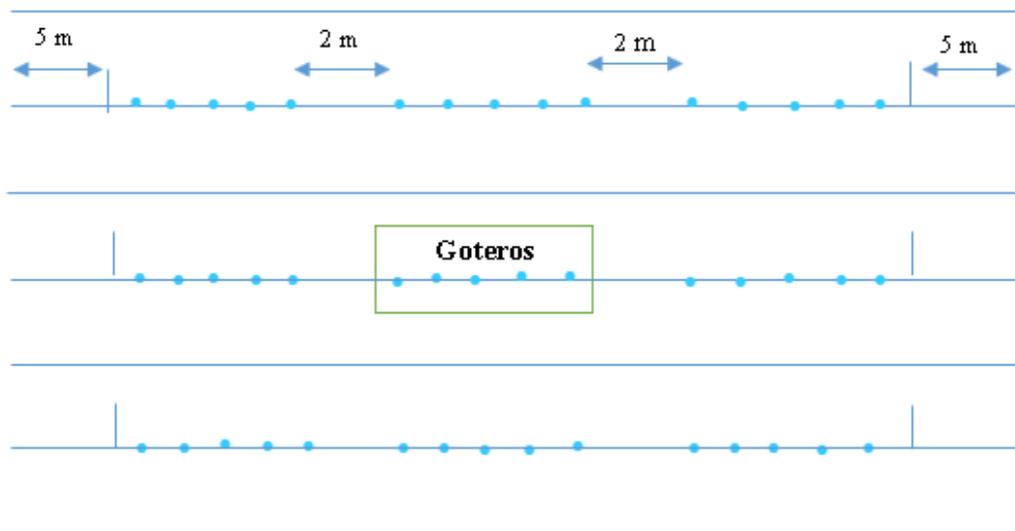


Figura 3-2. Esquema de eficiencia de riego en goteo.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Tabla 5-2: Datos registrados en campo para goteo.

Datos registrados en campo	
Lamina de riego	4.71 mm
Tiempo de riego	23.92 min
Presión al inicio de la cinta	22 psi
Presión al final de la cinta	20 psi
Caudal del goteo	0.02 L/m
Distancia entre góteros	20 cm

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Tabla 6-2: Volúmenes almacenados en los vasos pluviométricos de goteo

Línea 3		Línea 8		Línea 13	
Muestra	mm	Muestra	mm	Muestra	mm
9	28	5	30	10	30
2	29	1	31	5	30
1	30	2	31	2	31
3	30	3	31	14	31
5	30	4	31	4	32
4	31	11	31	9	32
6	31	6	32	13	32

7	32	7	32	15	32
8	32	8	32	7	33
10	32	9	32	8	33
11	32	10	32	11	33
12	32	12	32	12	33
13	32	13	32	1	35
14	32	14	32	3	38
15	33	15	49	6	38

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

$$(2)\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{\text{Volumen medio recibido del 25\% de vasos con menor volumen}}{\text{Volumen medio del total de vasos}} \times 100$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{30 \text{ mm}}{32.91 \text{ mm}} \times 100$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = 91.15\%$$



Figura 4-2. Colocación de vasos pluviométricos y medición.

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

2.3.1.3. Eficiencia de riego en gravedad

Para determinar la eficiencia en el método de riego por gravedad, se utilizó la relación escorrentía-filtración, utilizando la fórmula descrita por (Fernández et al. 2010, p. 70).



Figura 5-2. Estructura para la eficiencia de riego en gravedad

Fuente: Fernández et al., 2010: p. 64.

Se realizaron 3 cálculos de la eficiencia considerando la etapa de inicio, desarrollo e intermedia, las herramientas utilizadas fueron un azadón, flexómetro, balde de 20L, vertederos, cronometro, donde se registraron los siguientes datos:

Tabla 7-2: Datos registrados en campo para gravedad

Registro de datos	
Caudal al inicio del surco	17.7 L/min
Tiempo de riego	15.6 min
Caudal de escorrentía	17.7 L/min
Tiempo de escorrentía	2 min
Profundidad de infiltración	20 mm
Longitud del surco	34 m
Ancho del surco	0.25 m

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se aplicó la siguiente formula:

(3)Eficiencia de riego

$d = 100\% - 12.8\%$ por gravedad = 100 – relación de escorrentia – relacion de filtración

Eficiencia de riego por gravedad = 25.61%

Eficiencia de riego por gravedad = **61.59 %**

Dónde:

$$(8) \text{Relación de escorrentia} = \frac{\text{Volumen de escorrentia}}{\text{Volumen aplicado}} \times 100$$

$$\text{Relación de escorrentia} = \frac{35.4 L}{276.12 L} \times 100$$

$$\text{Relación de escorrentia} = 12.8 \%$$

$$(9) V. de escorrentia (lt) = Q. de escorrentia \left(\frac{lt}{seg} \right) \times T. de escorrentia (min) \times 60$$

$$V. de escorrentia (lt) = 17.7 L/ min \times 2 min$$

$$V. de escorrentia = 35.4 L$$

$$(10) V. aplicado (lt) = \text{Caudal aplicado} \left(\frac{lt}{seg} \right) \times \text{tiempo de aplicación (min)} \times 60$$

$$V. aplicado (lt) = 17.7 L/ min \times 15.6 min$$

$$V. \text{aplicado (lt)} = 276.12 \text{ L}$$

$$(11) \text{ Relación de filtración} = \frac{\text{Volumen de filtración profunda}}{\text{Volumen aplicado}} \times 100$$

$$\text{Relación de filtración} = \frac{70.72 \text{ L}}{276.12 \text{ L}} \times 100$$

$$\text{Relación de filtración} = 25.61 \%$$

$$(12) V. f. profunda = V. infiltrado - V. de agua requerido$$

$$V. f. profunda = 240.72 \text{ L} - 170 \text{ L}$$

$$V. f. profunda = 70.72 \text{ L}$$

$$(13) V. infiltrado = V. aplicado - V. de escorrentía$$

$$V. infiltrado = 276.12 \text{ L} - 35.4 \text{ L}$$

$$V. infiltrado = 240.72 \text{ L}$$

$$(14) V. requerido = \text{altura requerida (mm)} \times \text{longitud de surcos (m)} \times \text{espaciamiento (m)}$$

$$V. requerido = 20 \text{ mm} \times 34 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$$

$$V. requerido = 170 \text{ L}$$



Figura 6-2. Medición del caudal y profundidad de infiltración.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.3.2. Ajuste del coeficiente de cultivo

2.3.2.1. Calibración de los lisímetros de drenaje

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (ET_c), se utilizó 3 lisímetros de drenaje, y para la evapotranspiración de referencia (ET_o) se utilizó un lisímetro, éstos fueron calibrados de la siguiente manera: se midió al azar la compactación del suelo, en diferentes tramos de cada tratamiento utilizando un penetrómetro, con el que se obtuvo una media de 480 Newton, para luego realizar el mismo proceso en cada uno de los lisímetros tomando en cuenta la media.

Cada lisímetro tiene: 2,49 m de largo y 1,97 de ancho, formado por 4 capas, las 3 primeras, son de suelo a una profundidad de 20 cm cada una y la última es de 60 cm, compuesta por piedra o canto rodado, misma que ayuda con el drenaje.



Figura 7-2. a) Verificación de la compactación, b) Compactación del suelo

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

2.3.2.2. Contenido de humedad del suelo (%)

El contenido de humedad de suelo (%) se determinó con el método gravimétrico, donde se recolectan muestras de suelo a los 30 cm de profundidad, obteniendo el peso de la muestra húmeda, luego es sometida a una temperatura de 105°C por 24 horas en la estufa, finalmente se aplicó la fórmula:

$$(1) \%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Dónde:

%H: porcentaje de humedad

PSH: peso del suelo húmedo

PSS: peso del suelo seco



Figura 8-2. % de humedad en el suelo.

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

2.3.2.3. Método de los tensiómetros

Los tensiómetros son instrumentos que ayudan a determinar la frecuencia de riego, para ello, antes de utilizarlos se procede a calibrarlos, para luego ubicarlos a una profundidad de 15 cm en cada tratamiento, realizándose mediciones todos los días en las primeras horas de la mañana.

Con el método gravimétrico se obtuvieron los valores de humedad: 11 centibares equivalen al 26 % de humedad del suelo y 31 centibares equivalen al 15 % de humedad del suelo.

2.3.2.4. Manejo de los lisímetros de drenaje

Para conocer el volumen de agua a aplicar en cada lisímetro en el primer riego se aplicó la fórmula

$$(15)VCC = \frac{CC - CAS}{100} \times Z \times \frac{Dap}{pw} \times AL$$

Dónde:

VCC: volumen a capacidad de campo (m³)

CC: Valor de capacidad de campo (%)

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

Z: Profundidad de capa (m)

Dap: Densidad aparente de la capa del suelo (gr/cm³)

pw: densidad del agua (gr/cm³)

AL: área del lisímetro (m²)

A cada valor obtenido se le adiciona el 25% o 50% adicional para provocar drenaje

Se aplicó la metodología para determinar la ETc y ETo citada por (Salazar 2020).

$$(16)Eto \text{ ó } Etc = \frac{\text{agua agregada por riego o precipitaciones} - \text{agua drenada en el periodo de analisis}}{\text{Numero de días que hay de un riego a otro}}$$

El coeficiente de cultivo se obtendrá mediante la ecuación

$$(17)Kc = \frac{Etc}{Eto}$$

Dónde:

Kc = coeficiente de cultivo

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

2.3.3. Duración e identificación de cada etapa fenológica en el cultivo de Fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. *Canarillo mejorado*.

Con la finalidad de reducir el error experimental en el diseño, se definieron parcelas netas tomando el 30% del área total de cada tratamiento desde la parte central, para luego dividir las en 3 partes iguales que forman las repeticiones excluyendo los bordes de las parcelas, se tuvieron parcelas con 132 m² y dentro de ellas se seleccionaron 10 plantas mediante un muestreo al azar luego de que el 70% de las plantas han germinado, se colocaron viñetas para identificarlas y marcas con corrector de esfero para recordar el punto de la lectura.

Los datos obtenidos fueron recopilados de las plantas seleccionadas durante el ciclo de cultivo, al final el ciclo de cultivo, fueron las escogidas para determinar el contenido relativo de agua, materia seca de la plantas y de las vainas.

Tabla 8-2: Identificación de etapas fenológicas en fréjol.

Etapas fenológicas	Descripción
Etapas inicial	Según la codificación generada por la BASF, BAYER, NOVARTIS Y HOECHST (BBCH) para fréjol la etapa comienza desde la siembra con BBCH 00, hasta que las plantas obtengan 2 hojas enteras completamente desplegadas con codificación BBCH 12 más o menos el 30% del total de plantas.
Etapas de desarrollo (vegetativa)	Esta etapa está comprendida desde la codificación BBCH 19, con la aparición de 2 o más hojas trifoliadas desplegadas y termina con la formación y desarrollo de brotes laterales visibles en un 30% del total de plantas con codificación BBCH 29.
Etapas intermedia (Floración)	Comienza con el apareamiento de los botones florales visibles fuera de las hojas con codificación BBCH 51 y termina cuando la mayoría de los pétalos se caen o se secan y aparecen las primeras vainas visibles, con codificación BBCH 67-69.
Etapas final (cosecha en vaina verde)	Etapas comprende la formación de la vaina, cuando el 10 % de las vainas alcanza la longitud típica con codificación BBCH 71 y termina cuando las vainas alcanzan su tamaño característico de madurez verde y están completamente formadas en un 30% del total de plantas, con codificación BBCH 83.

Fuente: (Meier et al. 1998).

2.4. Variables agronómicas y métodos de evaluación.

Tabla 9-2: Descripción de variables agronómicas y métodos de evaluación.

Variables	Métodos de evaluación
Altura de la planta	<p>Para medir la altura de la planta se utilizó una cinta métrica, este proceso se realizó cada 20 días desde la siembra hasta la cosecha, considerando 5 cm desde el suelo al tallo hasta la yema terminal.</p>  <p>Figura 9-2. Altura de la planta Realizado por: Vizuete, V. 2022.</p>
Número de hojas por planta	<p>Este parámetro de evaluación se llevó a cabo desde la emergencia hasta el momento de la cosecha cada 20 días.</p>
Diámetro del tallo	<p>Con un calibrador se tomaron las medidas a una altura de 5 cm del suelo, cada 20 días durante el ciclo de cultivo.</p>
Conductancia estomática antes y después del riego	<p>El proceso se realizó cada 20 días desde la siembra hasta la cosecha, utilizando un porómetro de hoja SC-1 con unidades de $\text{mmol/m}^2\text{s}$, seleccionando tres plantas al azar de las 10 escogidas por repetición a las 9 am en día despejado sin evidencia de lluvias el día anterior antes del riego, luego de haber aplicado el riego según la</p>

programación se registraban de nuevo los datos entre las 4 y 5 pm, este proceso se realizó para cada uno de los tratamientos.

1. Se observa que el desecante de la cámara de difusión este con una coloración azul para mantenerlo o rosado si hay que retirarlo.
2. Se enciende el porómetro y nos dirigimos a la opción de calibración en el menú de opciones.
3. Se agita la cámara de arriba hacia abajo con el fin de que el disecante reduzca la humedad relativa menor al 10% y se lo repite unas 10 veces hasta que la humedad relativa no supere el 10%.
4. Luego de realizar la calibración se regresa al menú principal y se coloca el papel filtro en la abertura de la cámara para no alterar la humedad relativa.
5. Antes de la lectura se agita la cámara para reducir alguna alteración en la humedad relativa, hasta que el porómetro indique que podemos colocar en la hoja.
6. Según la metodología desarrollada en el centro experimental del riego, se selecciona una hoja del tercio medio de la planta en buenas condiciones y se toma la lectura en el centro de la hoja evitando las nervaduras en el envés.
7. La lectura no dura más de 30 segundos, se registran los datos y se coloca el papel filtro.
8. Se repite el procedimiento desde el numeral 5 al 7 en cada lectura de las plantas seleccionadas.



a

b

c

Figura 10-2. a) Papel filtro, b) Calibración del porómetro, c) Lectura de conduct. estomática

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Estrés hídrico antes y después del riego

Para determinar estrés hídrico se utilizó la bomba scholander que toma datos en bares y psi, las mediciones se realizaron cada 20 días desde la siembra hasta la cosecha en verde, el procedimiento se lo hizo antes y después del riego a las 9 am y 3 pm según la programación en un día despejado.

1. Se escoge una hoja del tercio medio de la planta en buenas condiciones con la ayuda de una navaja para realizar un corte uniforme.
2. En una bolsa de aluminio se coloca la hoja dejando unos 5 cm el peciolo fuera, para luego cerrar la bolsa lo más posible sin dañar el cuello de la hoja
3. Se introduce la bolsa con la hoja en la cámara de la bomba scholander, introduciendo el peciolo en la tapa y ajustándola sin dañar su forma.
4. Se coloca la lupa con vista al peciolo.
5. Se bombea hasta observar por la lupa que en el corte se generan burbujas de agua.
6. Se registran los datos de obtenidos y se presiona el botón para liberar la presión del aire comprimido en la cámara y retirar la tapa.
7. Se repite el procedimiento por cada planta u hoja escogida.



a

b

c

Figura 11-2. a) Bomba scholander, b) Gotas de savia en el peciolo, c) Potencial hídrico

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Contenido relativo de agua (%)

Se determinó el WRC al momento de la cosecha en una hoja del tercio medio de la planta con un sacabocado número 4, se tomó una muestra del centro de la hoja sin nervadura, se pesaron muestras frescas, y luego se colocó la muestra en agua destilada por 24 horas para pesar y obtener el peso turgente y finalmente ponerla en la estufa a 65 ° C durante 48 horas para obtener el peso seco. La fórmula para aplicar:

$$(18) \%WRC = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso turgente} - \text{Peso seco}} \times 100$$



Figura 12-2. Corte con el sacabocado y peso de la muestra.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Materia seca de la planta y vaina

Se seleccionaron 3 plantas por repetición en cada tratamiento, se retiraron las vainas de las plantas para obtener peso fresco y se colocaron por separado en el horno a 105 ° C por 24 h, se determinó el peso seco, se aplicó la fórmula:

$$(19) \text{Materia seca } (\%) = \frac{\text{Peso de la materia seca}}{\text{Peso de la materia húmeda}} \times 100$$



Figura 13-2. Secado en la estufa y peso de la materia seca.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Huella hídrica

Después de obtener la información de la cantidad de agua aplicada y la distribución de las lluvias en cada tratamiento, el rendimiento en kilogramos por repetición, se aplicó la fórmula:

$$(20) \text{Huella hidrica azul} = \frac{\text{Agua aplicada en riego (L)}}{\text{Rendimiento (kg)}}$$

$$(21) \text{Huella hidrica verde} = \frac{\text{Agua distribuida por precipitaciones (L)}}{\text{Rendimiento (kg)}}$$

Rendimiento

El rendimiento se expresó en kg por parcela neta y en kilogramos por hectárea.

Volumen de agua aplicado

Luego de culminar el ciclo de cultivo se sumarán las láminas de riego aplicados.

Realizado por: Vizuite, V. 20

2.5. Manejo del ensayo

2.5.1. Labores pre culturales

2.5.1.1. Muestreo de suelo

Para el contenido de humedad del suelo, se tomaron muestras y se midió la compactación en varias partes de los tratamientos; primero a una profundidad de 30 cm y nuevamente a una profundidad aleatoria de 20 cm.

2.5.1.2. Preparación del suelo

Se realizó 2 pases de arado y 2 de rastra para quitar la primera capa de tierra desde una profundidad de 20 cm a 30 cm para facilitar la siembra.



Figura 14-2. Tractorado con rastra

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

2.5.1.3. División de parcelas

Utilizando estacas y piola se delimitaron parcelas brutas y parcelas netas de cada tratamiento.



Figura 15-2. Delimitación e identificación de las parcelas netas

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

2.5.1.4. *Surcado*

Con la ayuda de azadones y rastrillos con una distancia de 50 cm entre surcos.

2.5.1.5. *Instalación de los sistemas de riego*

Para la instalación del método de riego por goteo se utilizó tuberías flexibles FlexNet™ de 3 pulgadas de diámetro y una presión máxima de trabajo de 30 psi, con salidas separadas a 50 cm, se utilizaron cintas de riego auto compensadas DripNet PC™ que trabaja con caudales entre 0.4 a 3.8 L/h separados a 20 cm entre goteros y 0.5 mm de grosor, teniendo así 76 cintas de riego de 34 m de largo, para el método de riego por gravedad se usó la misma tubería flexible a igual distancia, pero con llaves manuales para la salida de agua, en aspersión se emplearon 12 aspersores de tipo bailarina Xcel Wobbler de Angulo alto boquilla #6 (Oro) R/M ½ "con presiones de 30 psi distanciado a 8 m de distancia entre cada uno.

También se utilizó el equipo CROP BOOSTER que cuenta con algunos micro transmisores que emiten frecuencias de radio naturales de baja frecuencia hacia las plantas por el agua de riego con la finalidad de promover las funciones naturales de la planta. Se encuentra instalado en el cabezal de riego del CER, adjunta a la tubería principal que distribuye el agua a cada tratamiento.



Figura 16-2. Presión de salida en el aspersor.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.5.2. *Labores culturales*

2.5.2.1. *Siembra*

La siembra se la realizo a cada 40 centímetros entre plantas y a 3 semillas por golpe de forma manual.

2.5.2.2. Fertilización

La fertilización primaria se realiza a partir de las necesidades nutricionales de las plantas, se colocó de manera parcial en cada sitio de siembra y luego se complementa con abono foliar a medida que la planta crece (ANEXO P).

2.5.2.3. Deshierbe

Después de sembrar se aplicó un herbicida pre emergente, a los 30 días después de la siembra se realizó el rascadillo y finalmente un deshierbe a los 60 días de desarrollo del cultivo.



Figura 17-2. Deshierbe a los 60 días del ciclo de cultivo.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.5.2.4. Riego

Esto se hace a través de los métodos de riego en estudio (goteo, aspersión y gravedad), con la ayuda de tensiómetros se determinó la frecuencia de riego y para saber cuánto regar se utilizó el método de los lisímetros obteniendo volúmenes y caudales de trabajo, para lo cual de determino una programación de riego (ANEXO P, Q y R).

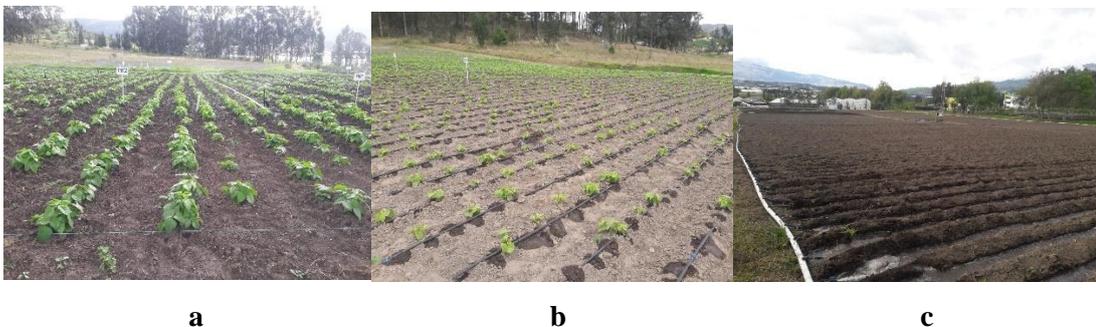


Figura 18-2. a) Riego en aspersión, b) Riego en goteo, c) Riego en gravedad.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.5.2.5. Manejo de plagas y enfermedades

Dependiendo del grado de impacto de las plagas y enfermedades sobre del cultivo, se realizó la aplicación de productos químicos de acción sistémica y preventiva.

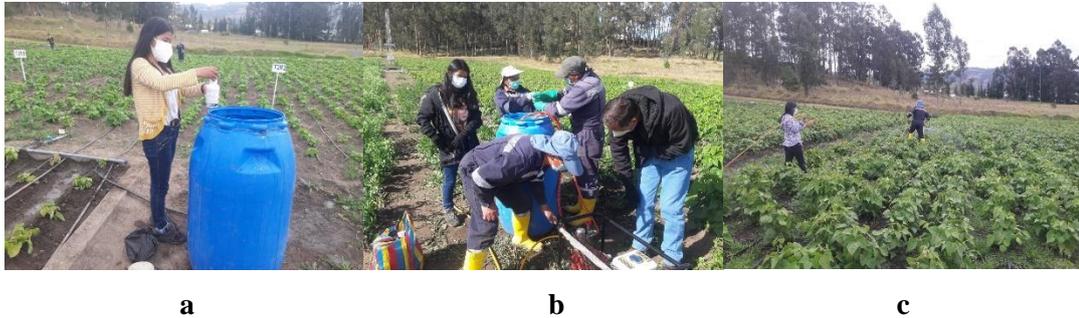


Figura 19-2. a) Preparación de solución, b) Bomba estacionaria, c) Aplicación de pesticidas.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

2.5.2.6. Cosecha

Para la cosecha se consideró que el 70% del total de vainas de cada tratamiento estén completamente desarrolladas, con un cambio de color de verde a amarillo.



Figura 20-2. Llenado en sacos para la comercialización.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Identificación y duración de etapas fenológicas en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Canarillo mejorado.

El momento y determinación de las etapas fenológicas del cultivo de fréjol se realizó mediante observaciones de campo, según los cambios generados con cada tratamiento, de acuerdo con la escala BASF, BAYER, NOVARTIS Y HOECHST (BBCH) como se observa en el siguiente gráfico.

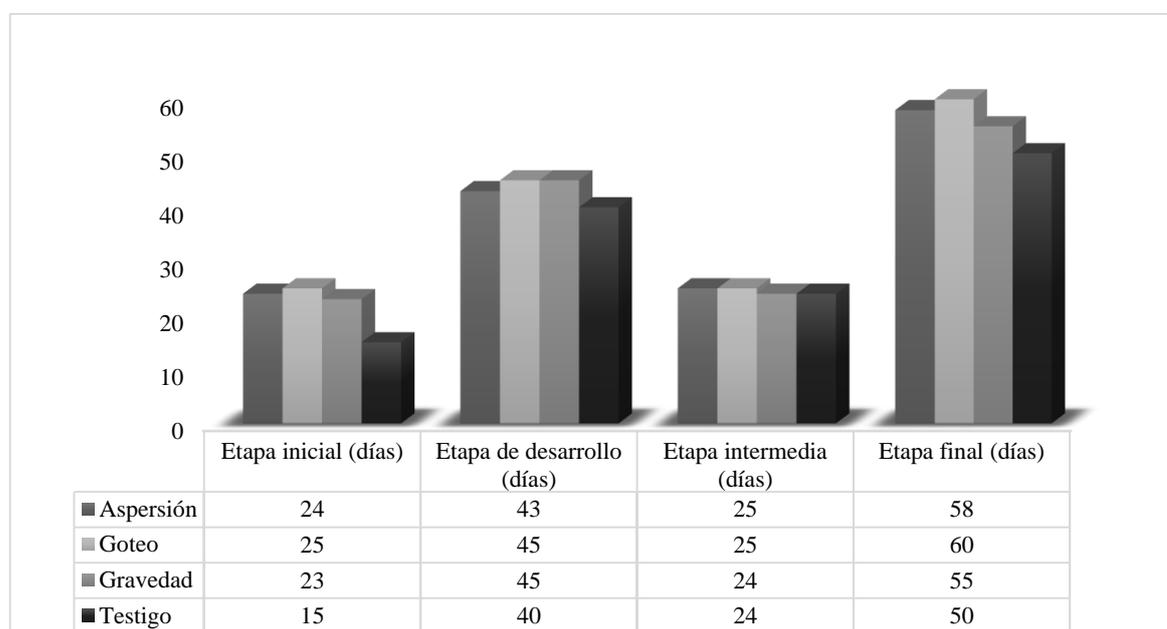


Gráfico 1-3. Duración de etapas fenológicas en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

3.1.1. Etapa inicial

La etapa inicial empieza según la metodología desarrollada en el centro experimental de Riego (CER), después de la siembra cuando las hojas primarias están completamente desplegadas del tallo en un 30 % del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) var. Canarillo mejorado.

El tratamiento con menor tiempo de duración fue el testigo con 15 días, seguido del tratamiento por gravedad con 23 días continuando el tratamiento de aspersión con 24 días y finalmente el tratamiento que tuvo mayor duración fue el de goteo con 25 días. Los datos obtenidos muestran una gran diferencia entre el tratamiento con menor duración (sin riego) y el tratamiento de mayor

duración (goteo), demostrando que la poca o excesiva disponibilidad de agua en el cultivo tiene un impacto en la duración del ciclo de cultivo.

3.1.2. *Etapa de desarrollo*

Esta etapa inicia según la metodología desarrollada en el CER, cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana y termina cuando el 30% de las plantas del cultivo han desplegado su tercera hoja trifoliada.

La etapa de desarrollo tuvo una duración mínima de 40 días en el tratamiento sin riesgo y una duración máxima de 45 días en goteo, Según FAO (2016), señala que la duración de la etapa de desarrollo es de 40 días aproximadamente en la Tabla 2-3 se puede evidenciar diferencias mínimas entre los tratamientos dependiendo de factores internos y externos que causan variación en la duración de las etapas.

3.1.3. *Etapa intermedia*

La Etapa Intermedia inicia según la metodología desarrollada en el CER, cuando en el 30% de las plantas aparecen los primeros botones florales o primer racimo floral hasta cuando en el 30% de las plantas del cultivo se ha marchitado la corola y la vaina empieza a crecer.

La etapa intermedia tuvo una duración de 25, 25, 24 y 24 días para aspersión, goteo, gravedad y testigo respectivamente. En la etapa intermedia existe una mínima diferencia entre tratamientos, diciendo así que a medida que el cultivo va desarrollándose la diferencia entre tratamientos es mínima, debido a las láminas de riego aplicadas y precipitaciones en cada tratamiento

3.1.4. *Etapa final*

La Etapa final inicia según la metodología desarrollada en el CER, cuando en el 30% de las vainas de las plantas termina de alargarse y empieza el llenado, es decir empieza el crecimiento del grano hasta que las vainas cambian su color de verde a amarillo.

El tratamiento con mayor número de días fue el de goteo con 60 días, seguido de aspersión con 58 días, continuando con gravedad con 55 días y por último el testigo con 50 días; las diferencias presentadas son altas por lo que se demuestra que el tratamiento sin riego sufrió estrés hídrico, acelerando el proceso de maduración y provocando bajos rendimientos.

3.1.5. Ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado

Los resultados de la duración total del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Canarillo mejorado para cada tratamiento se exponen en la siguiente figura:

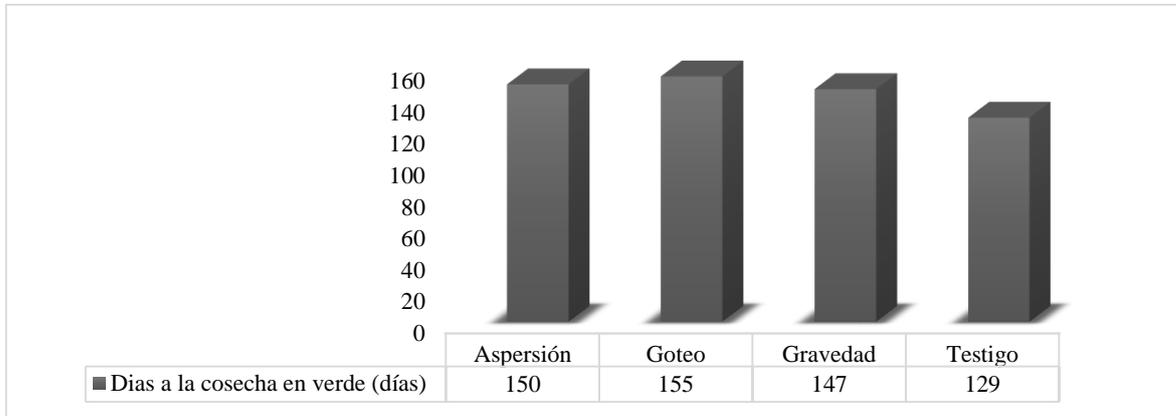


Gráfico 2-3. Ciclo de cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Canarillo mejorado.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

El tratamiento con mayor duración en el ciclo de cultivo fue goteo con 155 días, seguido de aspersión con 150 días, gravedad con 147 días y el de menor duración fue el testigo con 129 días. Se consideró los días desde el momento de la siembra hasta la cosecha.

Murillo (2012, p. 41) menciona que el ciclo total de desarrollo es de 110 días, por lo que se explica que el exceso o falta del recurso hídrico puede causar un aumento o disminución en la duración del ciclo de cultivo.

Según Vila, H. (2011, pp. 34-35), uno de los mecanismos de supervivencia de las plantas al estrés hídrico es la reducción del ciclo de cultivo, en el caso de plantas mesófitas que tienen un cierto grado de tolerancia a la falta de agua, su mecanismo de respuesta es la limitación en la transpiración que provoca una caída en el potencial osmótico para favorecer el paso del agua en el simplasto.

3.2. Coeficiente de cultivo y kc ajustado al cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* l.) var. Canarillo mejorado

Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) ajustado por cada una de las etapas fenológicas del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Canarillo mejorado bajo condiciones edafoclimáticas de la Estación experimental Tunshi cantón Riobamba provincia de Chimborazo se expone en el siguiente gráfico.

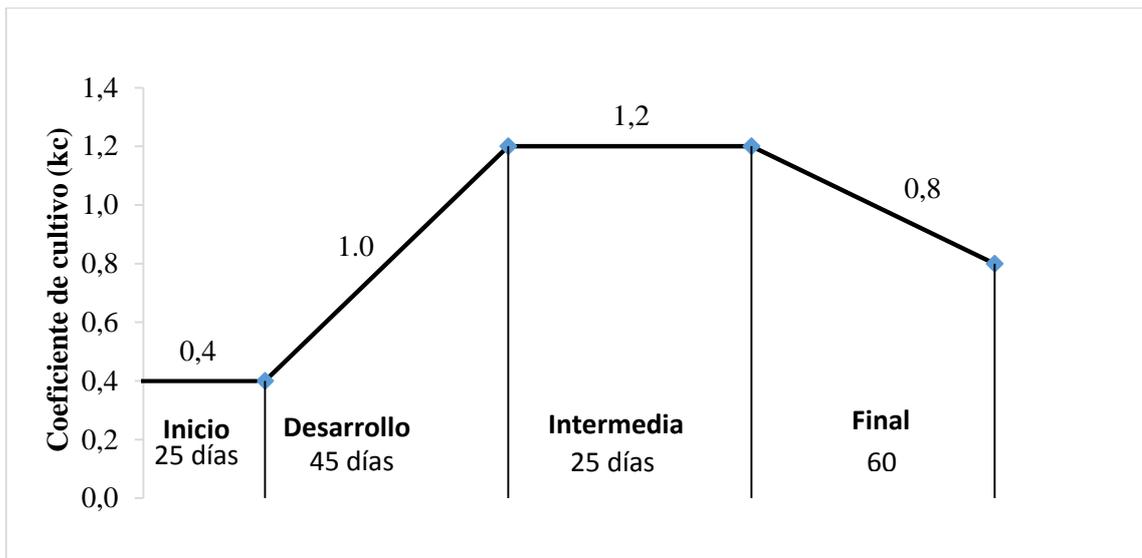


Gráfico 3-3. Coeficiente del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado ajustado por lisimetría.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Etapa inicial Considerando la etapa inicial los primero 25 DDS, el consumo de agua o Kc ajustado es de 0.4 el cual se determina en función de la gráfica.

Etapa Desarrollo El consumo de agua se incrementó en la etapa de desarrollo, obteniendo un valor de 1.0 en función de la gráfica.

Etapa Intermedia En esta etapa existe un mayor consumo de agua, alcanzando un valor máximo de 1.2, en función de la gráfica.

Etapa Final En esta etapa se observa una disminución en los valores de Kc llegando a 0.8 de acuerdo a la gráfica.

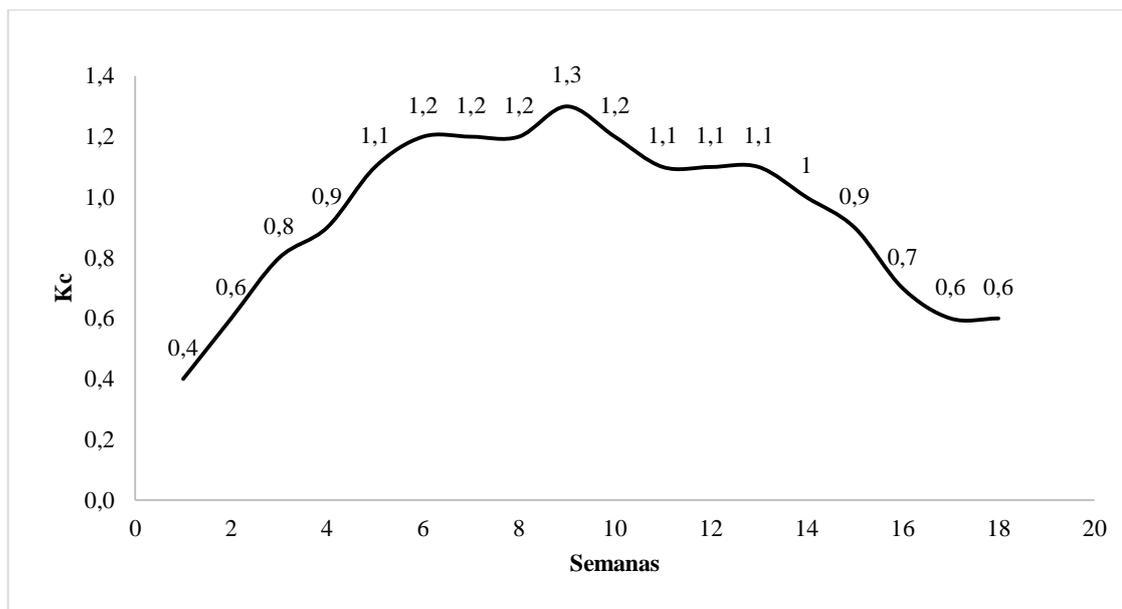


Gráfico 4-3. Coeficiente de cultivo (kc) semanal en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L). Var canarillo mejorado.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

El comportamiento del Kc durante las 18 semanas de observación en campo en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L). Var. Canarillo mejorado se observa en el gráfico 4-3, donde la semana 1 presenta un valor de Kc de 0.4, a medida que avanza el valor de Kc asciende hasta llegar a un límite de 1.2 en la semana 6, manteniéndose constante hasta la semana 10 y descendiendo hasta la semana 18 con un valor de 0.6.

El coeficiente de cultivo para el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L) var. Canarillo mejorado son de 0.4, 1.0, 1.2, y 0.8 para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente, son similares a los obtenidos por Gaibor (2017: pp. 64-65) donde obtiene mediante lisimetría en el cultivo de frejol variedad calima valores de 0.65, 0.96, 1.05 y 0.86 para cada una de las etapas, estas variaciones pueden ser debidas a las condiciones climáticas, época de siembra y variedad, sin embargo, Allen (2006: p. 132) señala que los valores de Kc para frejol en la etapa inicial es de 0.15, desarrollo de 0.98, intermedia de 1.19 y final de 0.56 con una Etc y Eto promedio de 2 y 5 mm/día, que vienen a ser similares a los datos obtenidos en la investigación y difieren en el último dato al haber realizado la cosecha y últimas tomas de datos cuando las vainas se encontraban maduras y no en seco.

3.3. Variables y métodos de evaluación

3.3.1. Altura de la planta

3.3.1.1. Altura de la planta a los 20 días

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 20 días, mostro diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos con un coeficiente de variación de 9.32%.

Tabla 1-3: Análisis de la Varianza para altura de la planta a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	10.55	3	3.52	9.31	0.0055	**
Error	3.02	8	0.38			
Total	13.57	11				
CV	9.32					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de tukey al 5% del grafico 5-3 presenta 3 grupos al comparar las medias de los tratamientos, goteo con una media de 8.2 cm, mientras que los tratamientos de aspersión y gravedad no presentan diferencias significativas con medias de 6.27 y 5.97 cm respectivamente, dejando al testigo en el ultimo grupo con 5.93 cm de media.

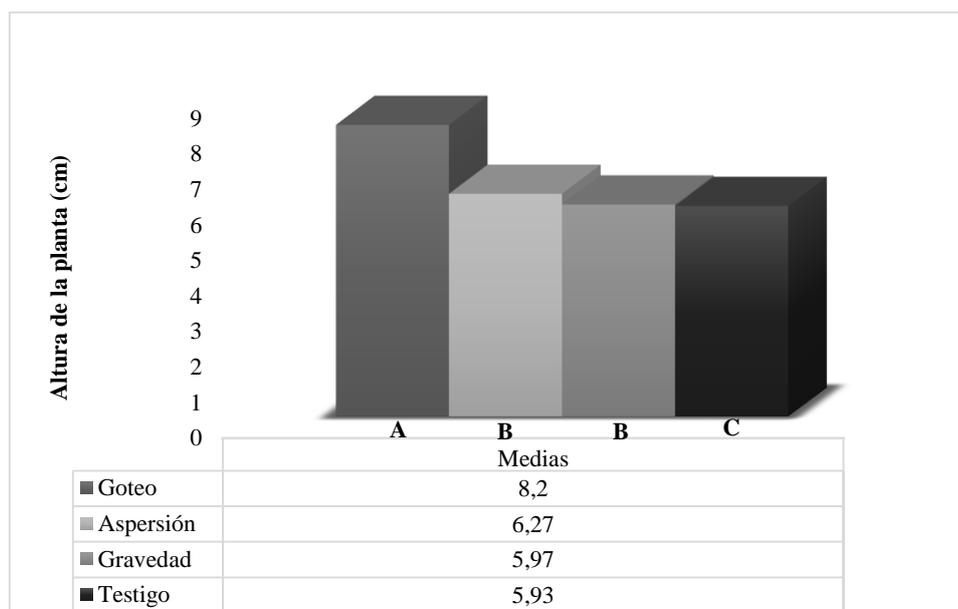


Gráfico 5-3. Altura de la planta a los 20 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se observa una diferencia en la altura de la planta en el tratamiento de goteo con respecto a los demás tratamientos a los 20 días de desarrollo del cultivo que corresponde a la etapa inicial, por lo cual se evidencia un efecto directo del método de riego sobre el crecimiento en longitud de la planta.

3.3.1.2. Altura de la planta a los 40 días

El análisis de varianza en la altura de la planta a los 40 días, presento diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 10.06%.

Tabla 2-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	16.98	3	5.66	5.58	0.0232	*
Error	8.11	8	1.01			
Total	25.09	11				
CV	10.06					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% del gráfico 6-3 para la altura de la planta a los 40 días, presenta 2 grupos, donde existen diferencias significativas al comparar las medias de goteo de 11.8 cm con las medias de los demás tratamientos de aspersión, gravedad y testigo.

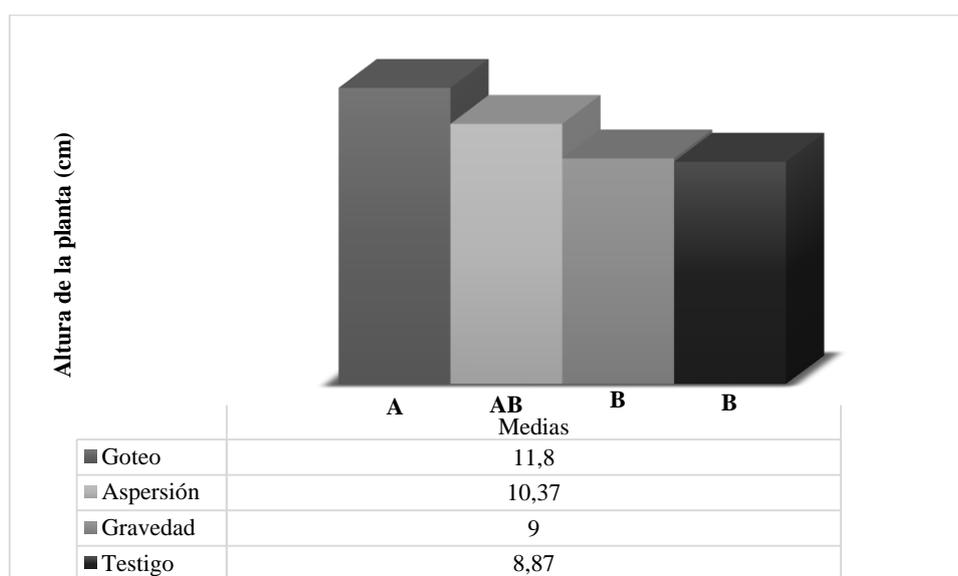


Gráfico 6-3. Altura de la planta a los 40 días.

Realizado por: Vizquete, V. 2022.

Durante la etapa de desarrollo del cultivo se puede observar en la gráfica 6-3, que las diferencias en altura entre los tratamientos se acortan a diferencia de los datos obtenidos a los 20 días, el tratamiento de goteo y aspersión son similares con una leve ventaja en goteo, pero con claras diferencias a los tratamientos de gravedad y testigo, posiblemente por la baja disponibilidad de agua en los últimos 2 tratamientos.

3.3.1.3. Altura de la planta a los 80 días

En el análisis de varianza para la altura de la planta a los 80 días, mostro diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 7.71%.

Tabla 3-3: Análisis de varianza para altura de la planta a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	127.71	3	42.57	6.35	0.0165	*
Error	53.66	8	6.71			
Total	181.37	11				
CV	7.71					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% del gráfico 7-3, se pueden observar las diferencias significativas entre los tratamientos donde la mayor media la presenta goteo con 37.13 cm y luego los demás tratamientos de aspersión, gravedad y testigo con valores similares.

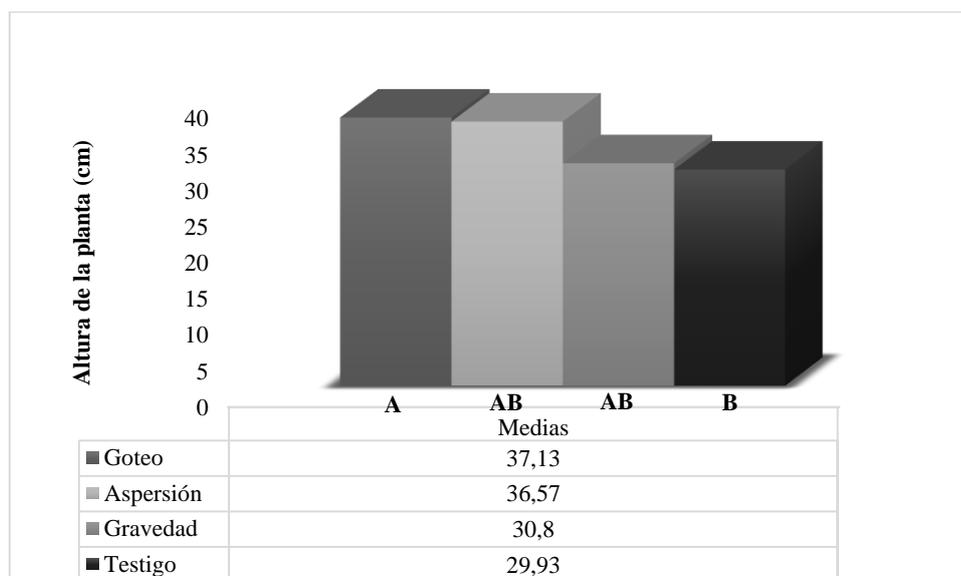


Gráfico 7-3. Altura de la planta a los 80 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se evidencia que el tratamiento de goteo y aspersión mantienen pocas diferencias en altura de la planta cuando el cultivo lleva 80 días en su desarrollo equivalente a la etapa intermedia, mientras que los tratamientos de gravedad y testigo están por debajo de la media de los 2 primeros tratamientos, mostrando así un retraso en el desarrollo en longitud de las plantas probablemente a la mala distribución del agua en gravedad y a la escases de agua en el testigo.

3.3.1.4. Altura de la planta a los 120 días

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 120 días, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 4.97%.

Tabla 4-3: Análisis de varianza para altura de la planta a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	163.06	3	54.35	12	0.0025	**
Error	36.22	8	4.53			
Total	199.28	11				
CV	4.97					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizúete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5 % del grafico 8-3 para la altura de la planta a los 120 días presenta dos grupos; goteo con una media de 46.97 cm y aspersión con una media de 45.83 cm, dejando en el otro grupo a los tratamientos de gravedad y testigo.

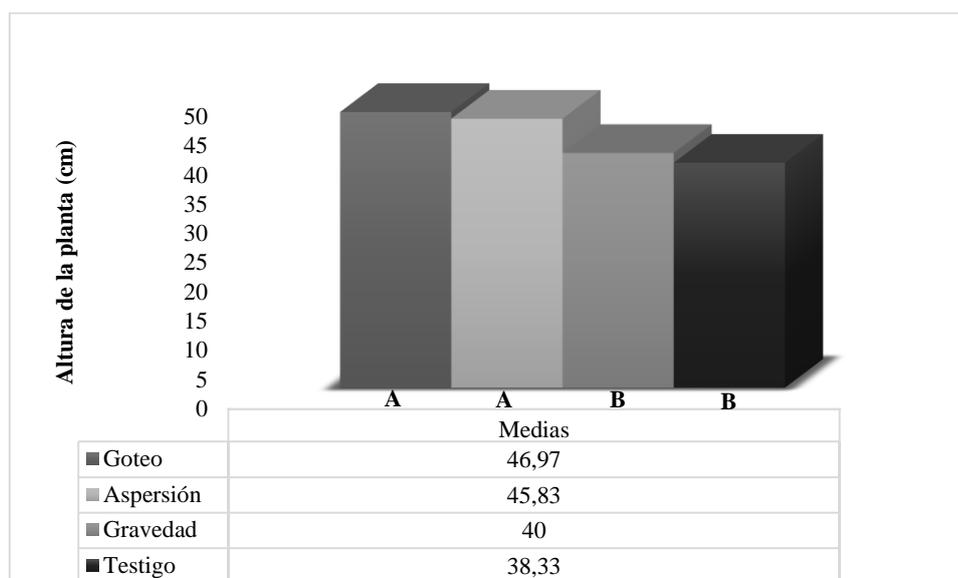


Gráfico 8-3. Altura de la planta a los 120 días.

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

Cuando las plantas se encuentran en la etapa final del ciclo de cultivo, la tendencia en la altura se mantiene similares para los tratamientos de goteo y gravedad teniendo una leve ventaja el método de riego por goteo, superando así al método de riego por gravedad y testigo en el crecimiento longitudinal de la planta, demostrando que los tratamientos de goteo y aspersión ayudan a obtener una mayor altura en la planta de frejol.

Después de realizar el análisis de datos de altura de la planta a los 20, 40, 80 y 120 días de ciclo de cultivo, se demuestra que los mejores métodos de riego para obtener una mayor altura de la planta en frejol (*Phaseolus vulgaris* L) var. Canarillo mejorado son goteo y aspersión, esto coincide con los resultados obtenidos por Alomoto (2020, p.8), donde la altura promedio alcanzada fluctúa entre los 42 y 50 cm para frejol arbustivo independientemente de la variedad y corrobora que el método de riego por goteo aumenta el volumen de agua disponible para la planta respondiendo con una mayor altura y precocidad de esta.

Según Calvache, M. (2017, p.8), indica que, durante el ciclo de cultivo del frejol, específicamente durante la etapa vegetativa correspondiente a los 80 días de desarrollo del cultivo, una de las consecuencias de la falta de agua es la altura de la planta, causando una disminución en la transpiración afectando a la acumulación de biomasa sintetizada y se intensifica durante periodos prolongados de sequía. Es evidente que el método de riego por gravedad no es el indicado para suplir las necesidades hídricas de la planta, puede retrasar o disminuir la altura de la planta durante el desarrollo y en similar situación en el testigo que es totalmente dependiente de las precipitaciones.

3.3.2. Diámetro del tallo

3.3.2.1. Diámetro del tallo a los 20 días

El análisis de varianza para el diámetro del tallo a los 20 días, presento diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 4.51%.

Tabla 5-3: Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2.01	3	0.67	15.93	0.001	**
Error	0.34	8	0.04			
Total	2.34	11				
CV	4.51					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en el grafico 9-3 para el diámetro del tallo a los 20 días evidencia que los tratamientos de goteo, gravedad y aspersión son similares y superan al testigo con una media de 3.88 mm.

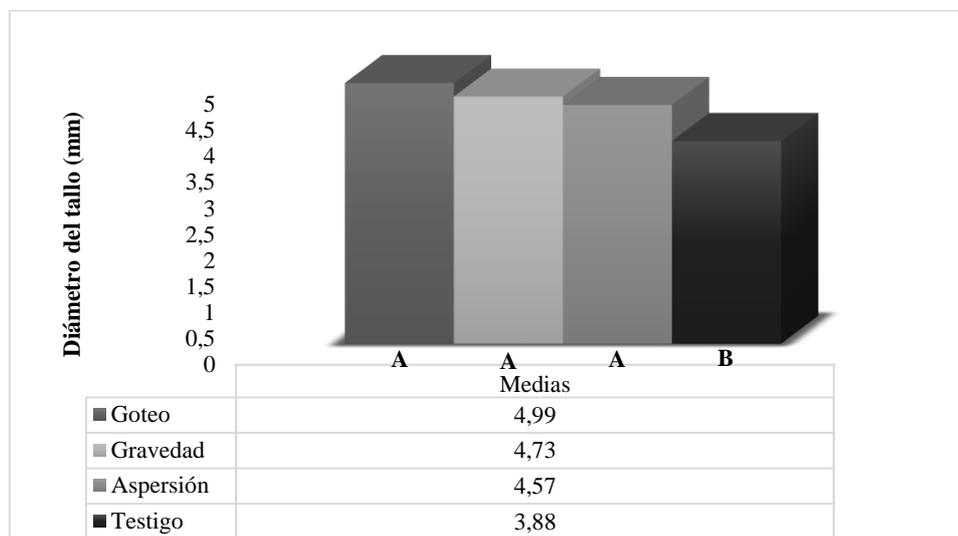


Gráfico 9-3. Diámetro del tallo a los 20 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se observa que no hay diferencias en el diámetro del tallo para los métodos de riego de goteo, aspersión y gravedad en la etapa inicial comprendida entre los 20 primeros días de desarrollo del cultivo, pero con una ventaja sobre el testigo sin riego debido probablemente a un déficit hídrico al que está sometido el tratamiento.

3.3.2.2. Diámetro del tallo a los 40 días

El análisis de varianza para el diámetro del tallo a los 40 días, presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 3.83%.

Tabla 6-3: Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2.71	3	0.9	23.34	0.0003	**
Error	0.31	8	0.04			
Total	3.02	11				
CV	3.83					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del tallo a los 40 días, presenta 2 grupos, los tratamientos de goteo, aspersión y gravedad tienen valores similares, pero superan al testigo con una media de 4.35 mm.

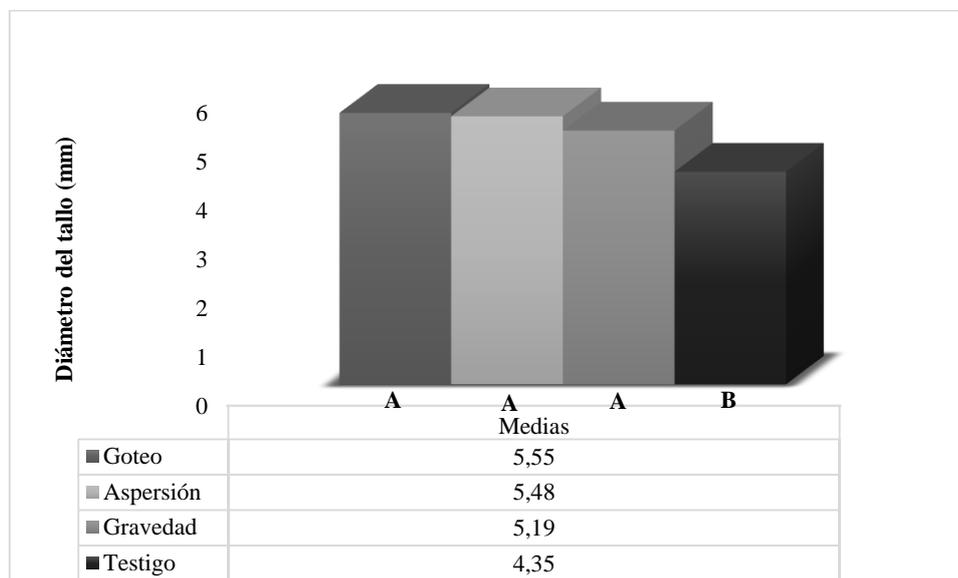


Gráfico 10-3. Diámetro del tallo a los 40 días.

Realizado por: Vizquete, V. 2022.

Se muestra que los tratamientos de goteo, aspersión y gravedad mantienen valores similares para el diámetro del tallo durante la etapa de desarrollo del cultivo entre los 40 días, alejando por poco al tratamiento sin riego y que posiblemente se deba a la falta de humedad en el suelo.

3.3.2.3. Diámetro del tallo a los 80 días

En el análisis de varianza en el diámetro del tallo a los 80 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.96%.

Tabla 7-3: Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	11.71	3	3.9	87.32	<0.0001	**
Error	0.36	8	0.04			
Total	12.07	11				
CV			2.96			

*: Significativo (p <0.05); **: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para el diámetro del tallo a los 80 días, presentada en el gráfico 8-3, se observan diferencias significativas para el tratamiento de goteo con una media de 8.22 mm y agrupa a los tratamientos de aspersión y gravedad con medias similares, mientras que el testigo en el último grupo con una media de 5.57 mm.

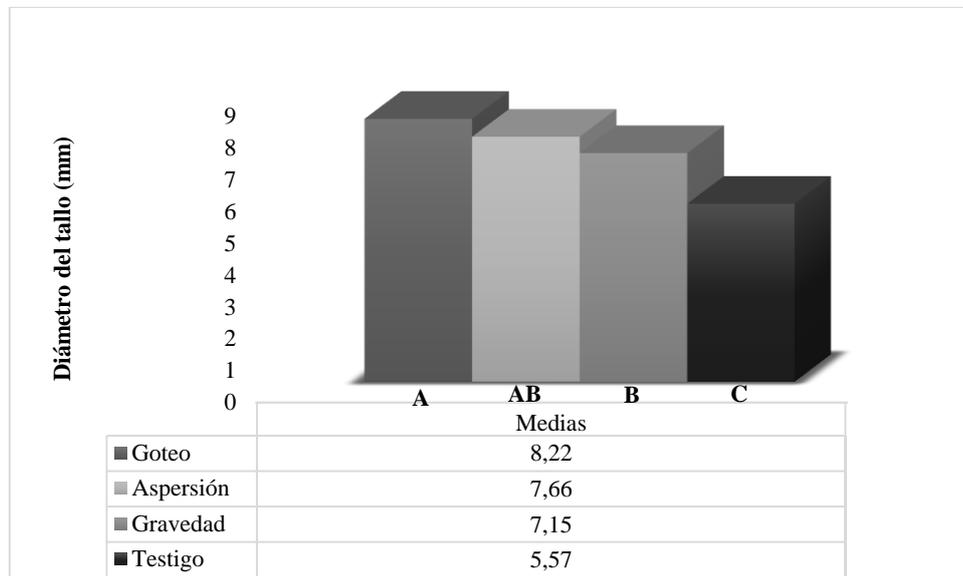


Gráfico 11-3. Diámetro del tallo a los 80 días.

Realizado por: Vizquete, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 80 días equivalente a la etapa intermedia del cultivo, donde el método de riego por goteo tiene una mínima ventaja sobre el tratamiento de aspersión y se observa una gran ventaja sobre los tratamientos de gravedad y sin riego, estas diferencias posiblemente se deben a una mayor interacción entre suelo-planta-atmosfera en los primeros métodos.

3.3.2.4. Diámetro de tallo a los 120 días

El análisis de varianza para el diámetro del tallo a los 120 días mostro diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.68%.

Tabla 9-3: Análisis de varianza para diámetro del tallo a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	11.77	3	3.92	74.55	<0.0001	**
Error	0.42	8	0.05			
Total	12.19	11				
CV	2.68					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en el diámetro del tallo a los 120 días, presenta tres grupos, goteo con una media de 9.66 mm, aspersión y gravedad con valores similares y el testigo con una media de 7.03 mm.

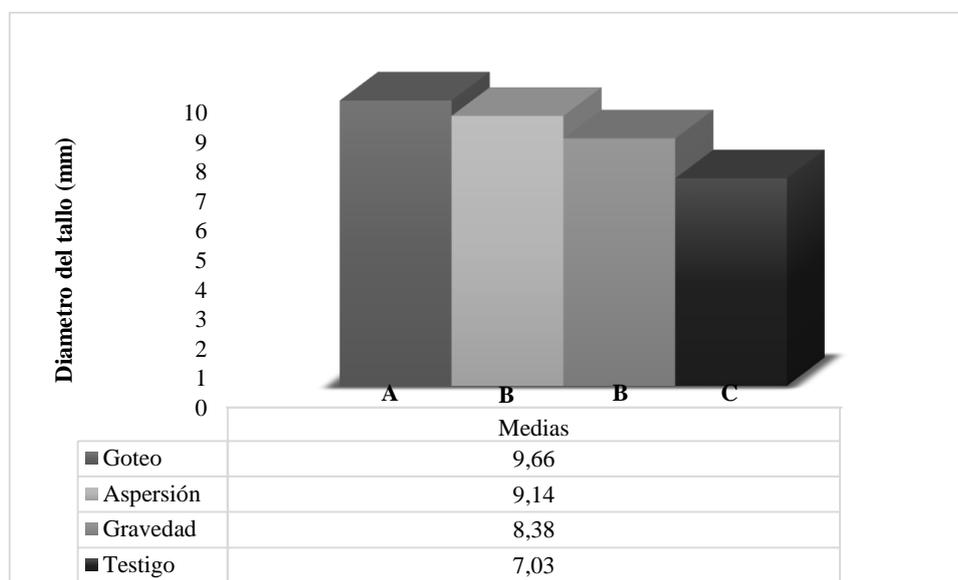


Gráfico 12-3. Diámetro del tallo a los 120 días.

Realizado por: Vizquete, 2022.

En la etapa final del cultivo se observa (gráfico 12-3), diferencias para los tratamientos, donde se separan cada uno de los métodos dejando en primer lugar al método de riego por goteo y último al testigo sin riego que probablemente sea debido a la falta de agua que se aplica por riego.

Después de analizar los datos obtenidos a los 20, 40, 80 y 120 días durante el ciclo de cultivo se observa que el método de riego por goteo tiene mayores beneficios para el diámetro del tallo en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado, este efecto se deba eventualmente a lo mencionado por Pire (2007, p. 2-4), donde indica que el diámetro del tallo está

directamente relacionado con la altura de la planta y por un déficit hídrico hay una reducción del área en los vasos del xilema aproximadamente en un 9%.

3.3.3. Numero de hojas

3.3.3.1. Numero de hojas a los 20 días

El análisis de varianza para el número de hojas a los 20 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 9.82%.

Tabla 10-3: Análisis de varianza para número de hojas a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	5.81	3	1.94	18.15	0.0006	**
Error	0.85	8	0.11			
Total	6.66	11				
CV	9.82					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el numero de hojas a los 20 días, del gráfico 11-3 muestra diferencias significativas para los tratamientos formando dos grupos, los tratamientos de goteo y aspersión con 4.3 mm y 3.63 mm respectivamente, mientras que en el otros grupo se encuentran los tratamientos de gravedad y testigo con valores inferiores.

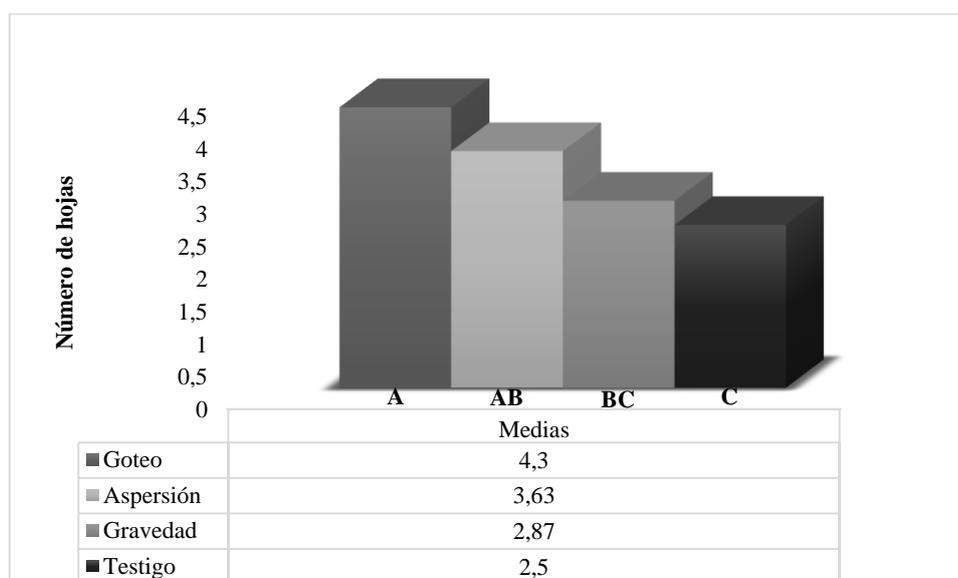


Gráfico 11-3. Número de hojas a los 20 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

En el gráfico 13-3, se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 20 días equivalente a la etapa inicial del cultivo, donde el método de riego por goteo tiene una mayor cantidad de hojas, mientras que en tratamiento sin riego tiene menor cantidad de hojas, estas diferencias posiblemente se deben al efecto del estrés hídrico que sufre el tratamiento sin riego

3.3.3.2. Numero de hojas a los 40 días

En el análisis de varianza del número de hojas a los 40 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con coeficiente de variación de 4.99%.

Tabla 12-3: Análisis de varianza para número de hojas a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	5.17	3	1.72	26.85	0.0002	**
Error	0.51	8	0.06			
Total	5.68	11				
CV	4.99					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para el numero de hojas a los 40 días, presenta tres grupos, goteo con una media de 5.7 hojas, aspersión y gravedad con valores similares y el testigo con una media de 4.03 hojas.

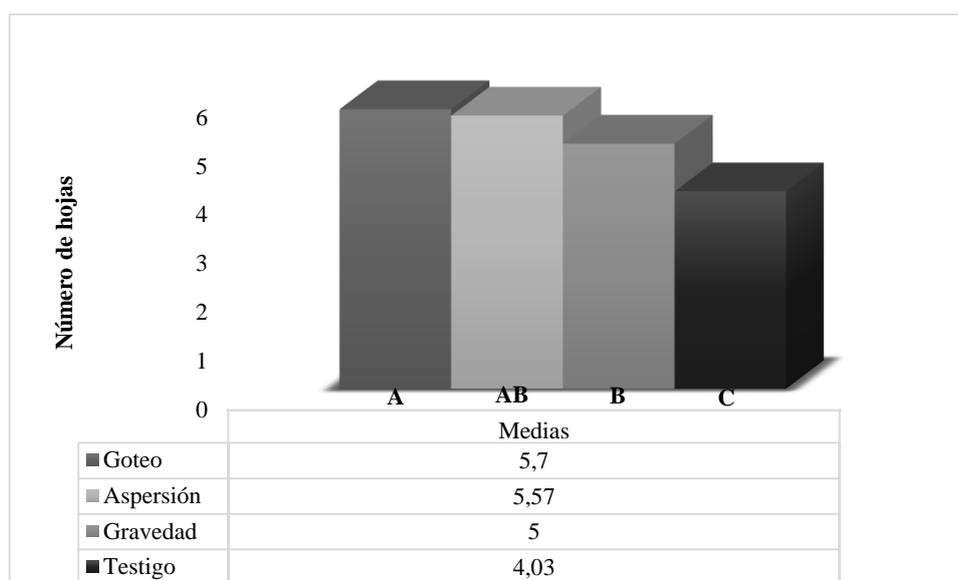


Gráfico 14-3. Número de hojas a los 40 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 40 días equivalente a la etapa de desarrollo del cultivo, donde el método de riego por goteo tiene una mínima ventaja sobre el tratamiento de aspersión, pero aspersión y gravedad no tienen diferencias, mientras que en gravedad y testigo si existen diferencias de número de hojas.

3.3.3.3. Numero de hojas a los 80 días

En el análisis de varianza para el número de hojas a los 80 días, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 7.97%

Tabla 13-3: Análisis de varianza para el número de hojas a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	35.69	3	11.9	7.59	0.01	*
Error	12.54	8	1.57			
Total	48.23	11				
CV	7.95					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para el numero de hojas a los 80 días en el gráfico 15-3, muestra diferencias significativas para los tratamientos formando dos grupos donde goteo, gravedad y aspersión muestran medias similares y el testigo con una media de 12.97 hojas.

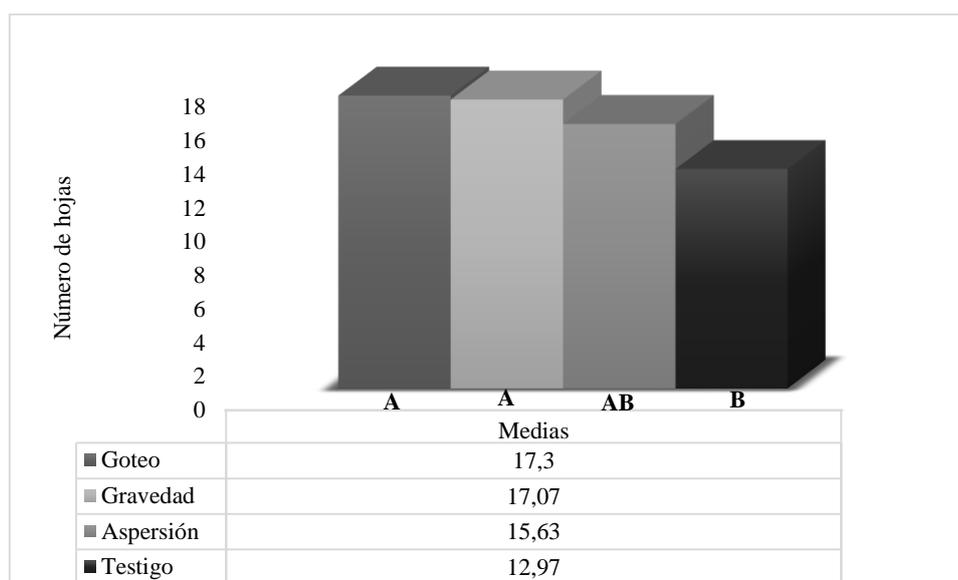


Gráfico 15-3. Número de hojas a los 80 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

En el gráfico 15-3, se muestra que los tratamientos de goteo, aspersión y gravedad mantienen valores similares para el número de hojas durante la etapa intermedia del cultivo entre los 80 días, separando por poco al tratamiento sin riego y que posiblemente se deba a la falta de humedad en el suelo provocando un estrés hídrico.

3.3.3.4. Número de hojas a los 120 días

El análisis de varianza para el número de hojas a los 120 días, presentó diferencias estadísticas significativas en los tratamientos. Con coeficiente de variación de 4.95%.

Tabla 14-3: Análisis de varianza para el número de hojas a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	39.61	3	13.2	9.54	0.0051	**
Error	11.07	8	1.38			
Total	50.68	11				
CV	4.95					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizueté, V. 2022.

Con la prueba de Tukey al 5% en el número de hojas a los 120 días del gráfico 16-3, se presentan dos grupos, los tratamientos de gravedad, goteo y aspersión muestran valores similares y el testigo por debajo con una media de 10.7 hojas.

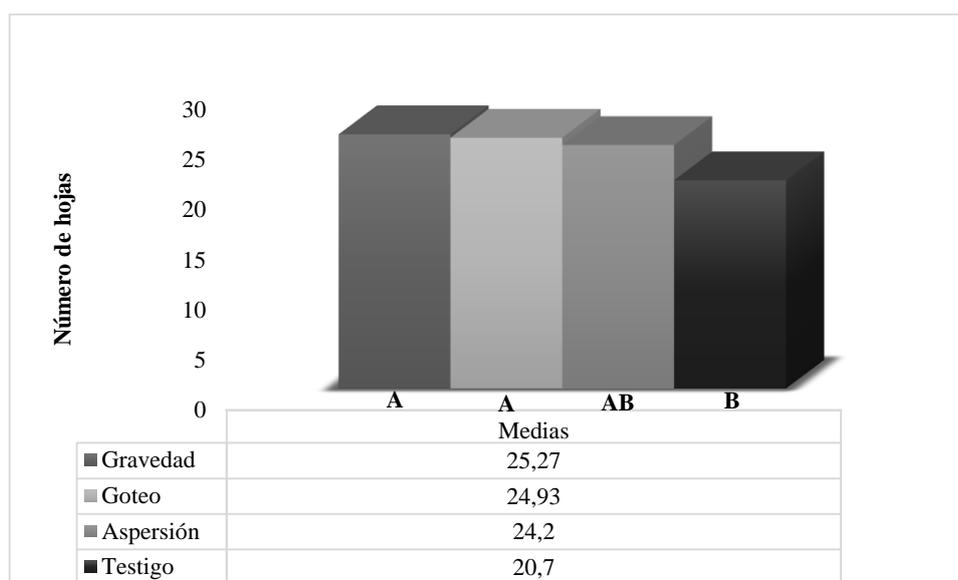


Gráfico 16-3. Número de hojas a los 120 días.

Realizado por: Vizueté, V. 2022.

Los valores obtenidos para el número de hojas para cada uno de los tratamientos, colocan en primer lugar al método de riego por goteo, seguido del método por aspersión, esto coincide con el experimento hecho por Batista, et al. (2017, p. 4) que tiene una media de 23.48 hojas por planta, esta variación puede estar relacionada con un menor flujo de agua que afecta a la división celular en las células meristemáticas, para Quintana, et al. (2016, p.5) las plantas que están sometidas a estrés hídrico presentan impedimentos en el desarrollo de nuevos órganos como las hojas debido a un desajuste estomático que provoca un menor contenido de agua almacenada.

Otras de las consecuencias de la escasez del agua en el suelo, al ser insuficientes las lluvias son las mencionadas por Yepes & Buckeridge, (2011, p. 12), como la expansión foliar y elongación radicular, durante este período la planta continúa con su desarrollo foliar hasta que en la zona de pelos absorbentes el agua sea limitada, como resultado el volumen celular se reduce promoviendo que las paredes celulares se aflojen, disminuyendo el desarrollo foliar; la planta envía todos sus esfuerzos usados en la expansión foliar a los extremos de la zona radicular para que estas crezcan y encuentren agua.

3.3.4. Conductancia estomática antes del riego

3.3.4.1. Conductancia estomática antes del riego a los 20 días

En el análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 20 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.25%.

Tabla 15-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	25168.6	3	8389.53	191.74	<0.0001	**
Error	350.05	8	43.76			
Total	25518.65	11				
CV	2.25					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizúete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en la conductancia estomática antes del riego a los 20 días, muestra diferencias significativas para todos los tratamientos ubicando primero al tratamiento de goteo con una media de 355.57 mmol/m²s, seguido de los tratamientos de aspersión y gravedad y finalmente al testigo con una media de 228.43 mmol/m²s.

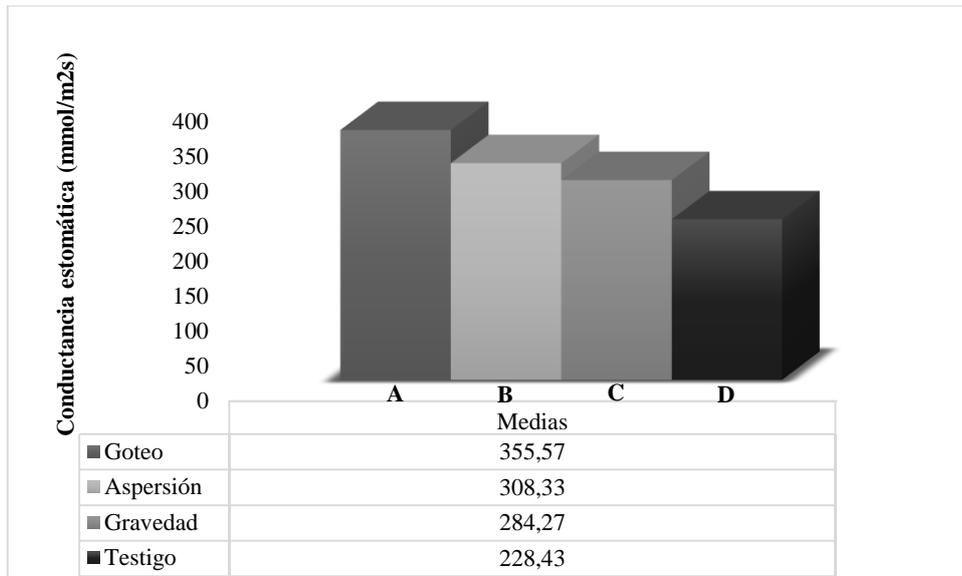


Gráfico 17-3. Conductancia estomática antes del riego a los 20 días.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 20 días antes del riego, equivalente a la etapa inicial del cultivo, donde el método de riego por goteo predomina sobre los otros tratamientos en estudio indicando que el tratamiento de goteo presentó mayor conductancia estomática en comparación al resto de tratamientos, posiblemente por presentar mejores condiciones de humedad en el suelo y ambiente.

3.3.4.2. Conductancia estomática antes del riego a los 40 días

El análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 40 días, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 0.71%.

Tabla 16-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	53461.34	3	17820.45	3796.3	<0.0001	**
Error	37.55	8	4.69			
Total	53498.9	11				
CV	0.71					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para la conductancia estomática antes del riego a los 40 días, forma cuatro grupos estadísticamente diferentes, primero goteo con una media de 395.07 mmol/m²s, luego aspersión y gravedad con el testigo en el último grupo con una media de 215 mmol/m²s.

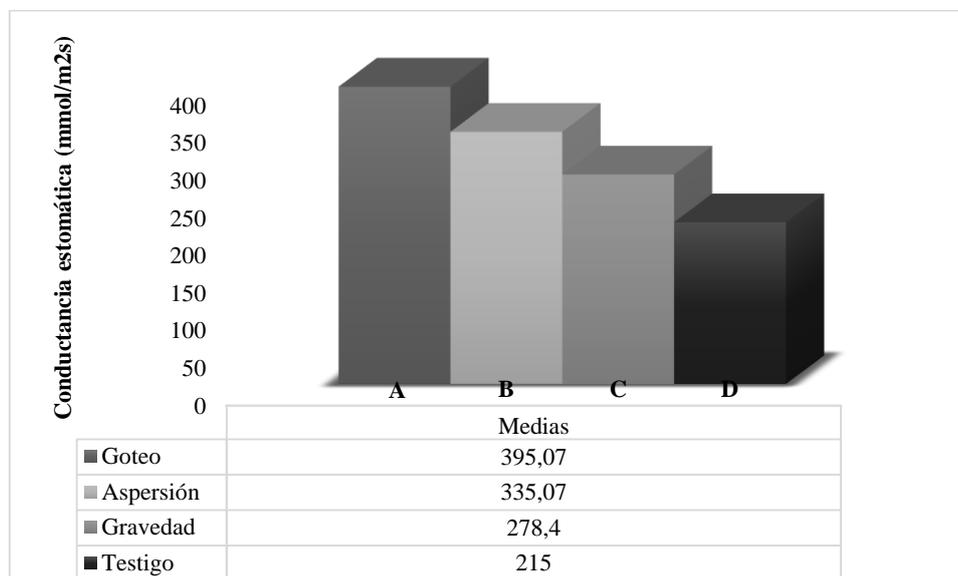


Gráfico 18-3. Conductancia estomática antes del riego a los 40 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 40 días antes del riego, equivalente a la etapa de desarrollo del cultivo, donde el método de riego por goteo presentó mayor conductancia estomática en comparación al tratamiento sin riego que fue el que presentó menor conductancia estomática, debido el estrés hídrico al que está sometido el tratamiento.

3.3.4.3. Conductancia estomática antes del riego a los 80 días

En el análisis de varianza en la conductancia estomática antes del riego a los 80 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 2.68%.

Tabla 17-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	9421.76	3	3140.59	31.15	0.0001	**
Error	806.47	8	100.81			
Total	10228.23	11				
CV	2.68					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para la conductancia estomática antes del riego a los 80 días en el gráfico 19-3, muestra diferencias significativas para los tratamientos formando tres grupos, goteo con una media de 417.8 mmol/m²s, luego aspersión y testigo con valores similares, mientras que gravedad con una media de 244.93 mmol/m²s.

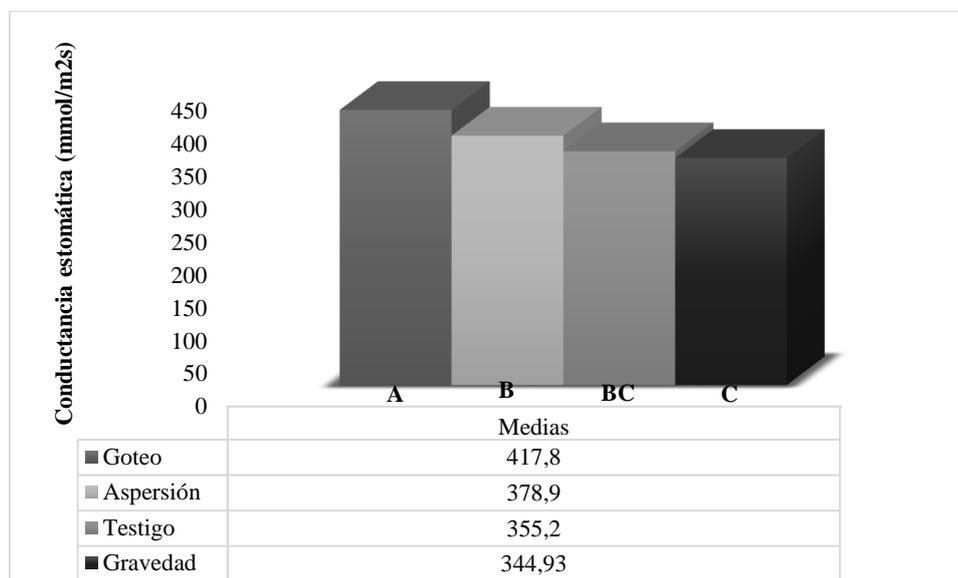


Gráfico 19-3. Conductancia estomática antes del riego a los 80 días.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos a los 80 días antes del riego, equivalente a la etapa intermedia del cultivo, donde el método de riego por goteo presentó mayor conductancia estomática que aspersión, mientras que aspersión y testigo tienen valores similares de conductancia estomática pero se diferencian de gravedad, las diferencias se deben a las condiciones de humedad y del ambiente.

3.3.4.4. Conductancia estomática antes del riego a los 120 días

El análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 120 días, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 6.44%.

Tabla 19-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática antes del riego a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	17784.87	3	5928.29	11.09	0.0032	*
Error	4276.87	8	534.61			
Total	22061.74	11				
CV	6.44					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en la conductancia estomática antes del riego a los 120 días del gráfico 20-3, presenta dos grupos, goteo con una media de 420 mmol/m²s y los tratamientos de gravedad, aspersión y testigo con valores similares.

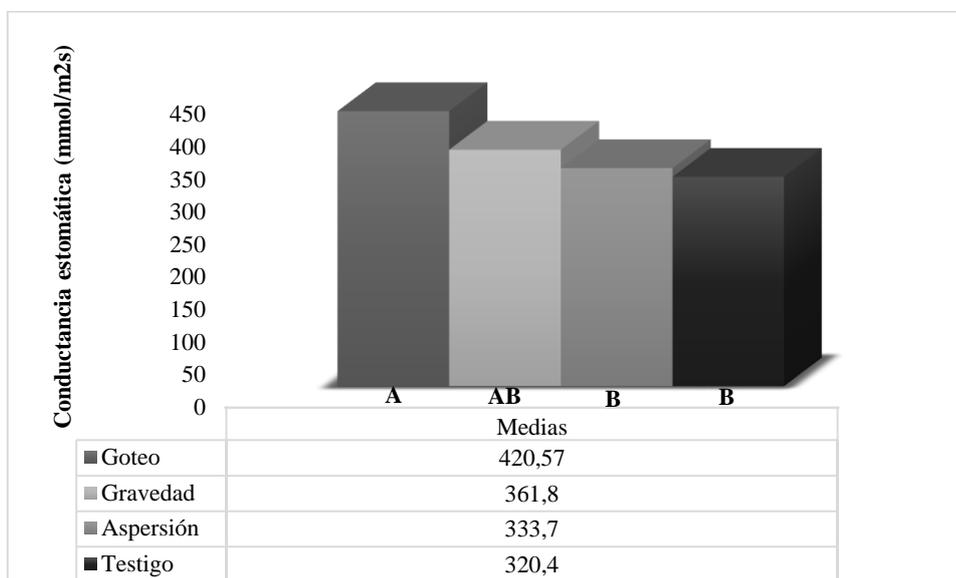


Gráfico 20-3. Conductancia estomática antes del riego a los 120 días.

Realizado por: Vizquete, V. 2022.

Luego de analizar los datos de conductancia estomática se puede observar que a medida que desarrolla el cultivo los valores del intercambio gaseoso van aumentando, teniendo una conductancia estomática al final del ciclo en goteo de 420.47 mmol/m²s, donde las plantas se encuentran con un ligero estrés antes de proporcionarles riego esto concuerda con el estudio de Gallegos (2004, p. 6), donde obtiene valores entre 350 a 450 mmol/m²s en etapa reproductiva luego de dejar sin riego entre 5 a 10 días el cultivo de frejol y que están en el rango de frecuencias de riego de la presente investigación.

3.3.5. Conductancia estomática después del riego

3.3.5.1. Conductancia estomática después del riego a los 20 días

El análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 20 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas en los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 0.72%.

Tabla 19-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	53362.7	3	17787.57	3315.48	<0.0001	**
Error	42.92	8	5.36			
Total	53405.62	11				
CV	0.72					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% en la conductancia estomática después del riego a los 20 días, evidencia diferencias estadísticas significativas para los tratamientos donde se presentan cuatros grupos, primero goteo con una media de 412.8 mmol/m²s, seguido de aspersión, luego gravedad y finalmente el testigo con una media de 228.43 mmol/m²s.

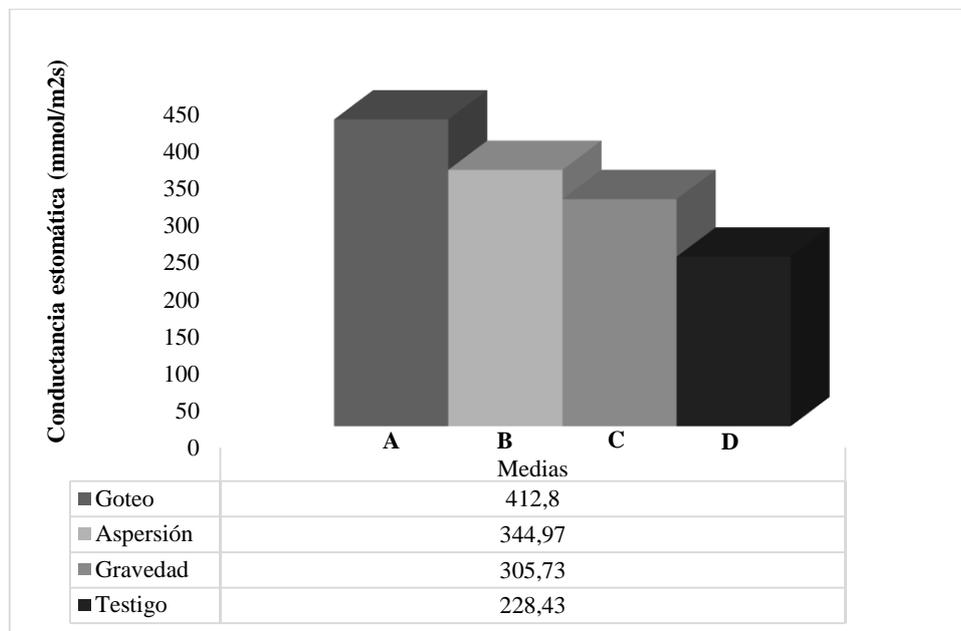


Gráfico 21-3. Conductancia estomática después del riego a los 20 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos después del riego, el tratamiento de goteo se posiciona en primer lugar con un valor mayor de conductancia estomática que los demás tratamientos dejando de último lugar al tratamiento sin riego su conductancia estomática es menor por la condición de estrés hídrico al que es sometido dicho tratamiento, durante los primeros 20 días equivalente a la etapa inicial del cultivo.

3.3.5.2. Conductancia estomática después del riego a los 40 días

En el análisis de varianza de la conductancia estomática después del riego a los 40 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas en los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 0.95%

Tabla 20-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	75519.85	3	25173.28	2362.95	<0.0001	**
Error	85.23	8	10.65			
Total	75605.08	11				
CV	0.95					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

Con la prueba de Tukey al 5% de la conductancia estomática después del riego a los 40 días, se presentan cuatro grupos, goteo con una media de 430.8 mmol/m²s, luego aspersión y gravedad, mientras que el testigo tuvo una media de 215 mmol/m²s.

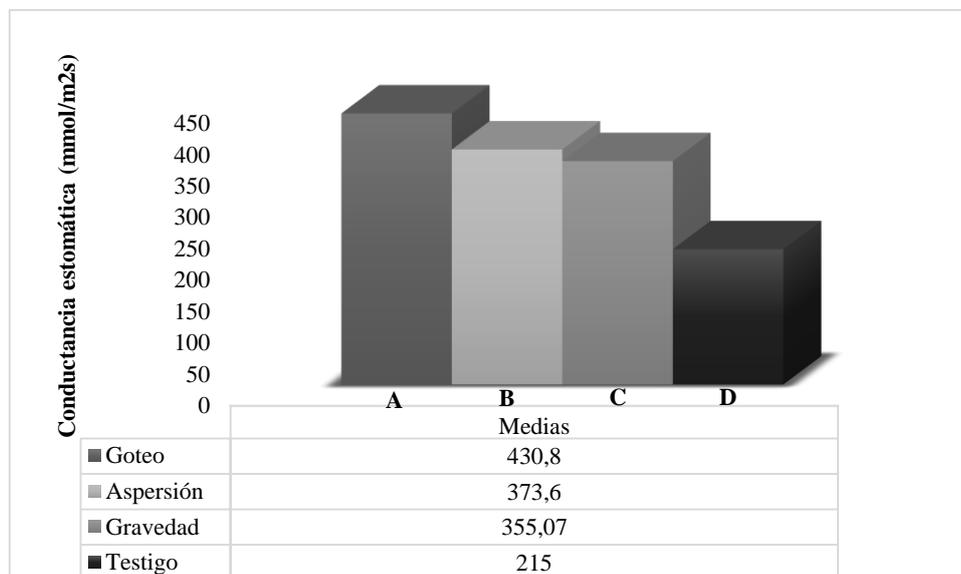


Gráfico 22-3. Conductancia estomática después del riego a los 40 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se observa diferencias para cada uno de los tratamientos después del riego, el tratamiento de goteo tiene un valor mayor de conductancia estomática que los demás tratamientos mientras que en el tratamiento sin riego la conductancia estomática es menor, debido a las condiciones de humedad de cada tratamiento, durante los 40 días correspondiente a la etapa de desarrollo del cultivo.

3.3.5.3. Conductancia estomática después del riego a los 80 días

El análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 80 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas en los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.96%.

Tabla 21-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	38175.35	3	12725.12	73.04	<0.0001	**
Error	1393.72	8	174.21			
Total	39569.07	11				
CV	2.96					

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% en la conductancia estomática después del riego a los 80 días, presenta tres grupos, goteo con una media de 505.93 mmol/m²s, aspersión y gravedad con valores similares y el testigo con una media de 355.2 mmol/m²s.

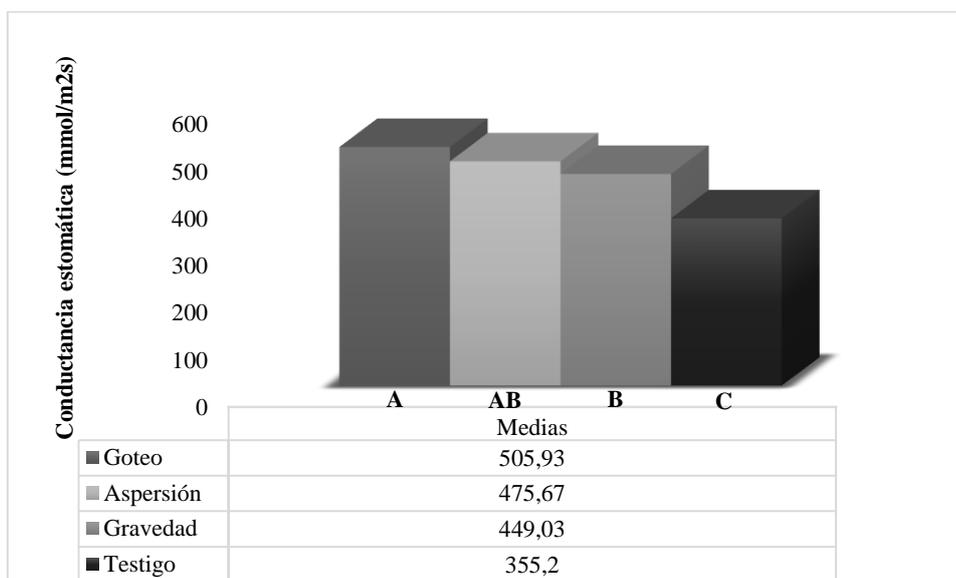


Gráfico 23-3. Conductancia estomática después del riego a los 80 días.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Se observa diferencias de conductancia estomática después del riego durante los 80 días correspondiente a la etapa intermedia del cultivo para cada uno de los tratamientos, la conductancia estomática de goteo es similar a la de aspersión, aspersión y gravedad tienen valores similares, pero se diferencian de goteo y testigo.

3.3.5.4. Conductancia estomática después del riego a los 120 días

El análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 120 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.73%

Tabla 22-3: Análisis de varianza para la conductancia estomática después del riego a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	78215.44	3	26071.81	180.61	<0.0001	**
Error	1154.81	8	144.35			
Total	79370.26	11				
CV		2.73				

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para la conductancia estomática después del riego a los 120 días, evidencio diferencias estadísticas significativas para todos tratamientos formando cuatro grupos, primero goteo con una media de 531.37 mmol/m²s, seguido de aspersión y gravedad y finalmente el testigo con una media de 320.4 mmol/m²s.

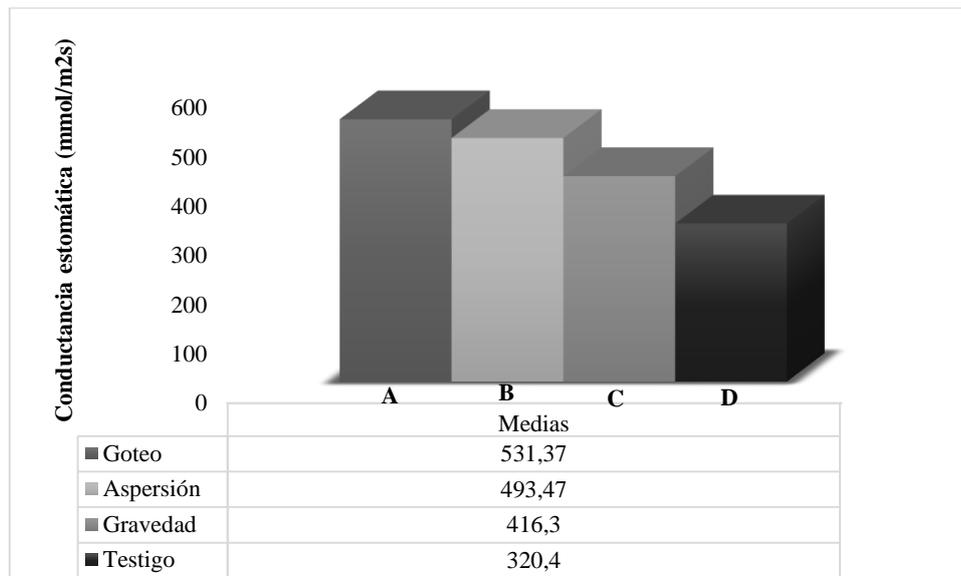


Gráfico 24-3. Conductancia estomática después del riego a los 120 días.

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

Según Londoño y Sánchez (2010, p.5), los valores de conductancia se ven influenciados por la fenología del cultivo que va aumentando según incrementan las necesidades hídricas del cultivo, también el momento del día en que se realiza la lectura de conductancia, añadiéndole las condiciones climáticas del lugar de estudio.

El tratamiento de goteo presentó mayor conductancia estomática en comparación al resto de tratamientos, donde posiblemente ocurra una mayor actividad metabólica de la planta por tener mejores condiciones de humedad en el suelo y ambiente, coincide con lo mencionado por Pita et al (2005) citado por Silva (2017, p. 27), donde una disminución en la conductancia estomática trae consecuencias en la tasa de fotosíntesis y crecimiento de la planta, además de generar reacciones de oxidación en las células de las plantas y que luego se expresa en estrés.

Los valores de conductancia estomática aumentan según el desarrollo del cultivo y dejando al tratamiento de goteo como el que mayor genera intercambio gaseoso entre planta-suelo-atmósfera, siendo más evidente cuando las plantas se encuentran en condiciones óptimas de humedad en suelo, al haber tomado los datos a horas de la mañana se obtienen los valores más altos debido a la mayor actividad solar, en condiciones de estrés los valores de conductancia se reducen como en el caso del tratamiento sin riego, donde por salvaguardar el estado hídrico, las plantas cierran sus estomas y que luego refleja en una baja actividad fotosintética, según Suárez (2017, p. 4) indica que debido a las altas temperaturas y baja humedad se pueden tener efectos negativos en la conductancia estomática y en la tasa fotosintética, ya que los estomas responden a las condiciones ambientales.

3.3.6. Potencial hídrico antes del riego

3.3.6.1. Potencial hídrico antes del riego a los 20 días

En el análisis de varianza en el potencial hídrico antes del riego a los 20 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 4.77%.

Tabla 23-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	24.7	3	8.23	69.58	<0.0001	**
Error	0.95	8	0.12			
Total	25.65	11				
CV	4.77					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en el potencial hídrico antes del riego a los 20 días, presenta cuatro grupos, goteo con una media de -5.17 bares seguido por aspersión y gravedad y por último el testigo con un media de -8.97 bares.

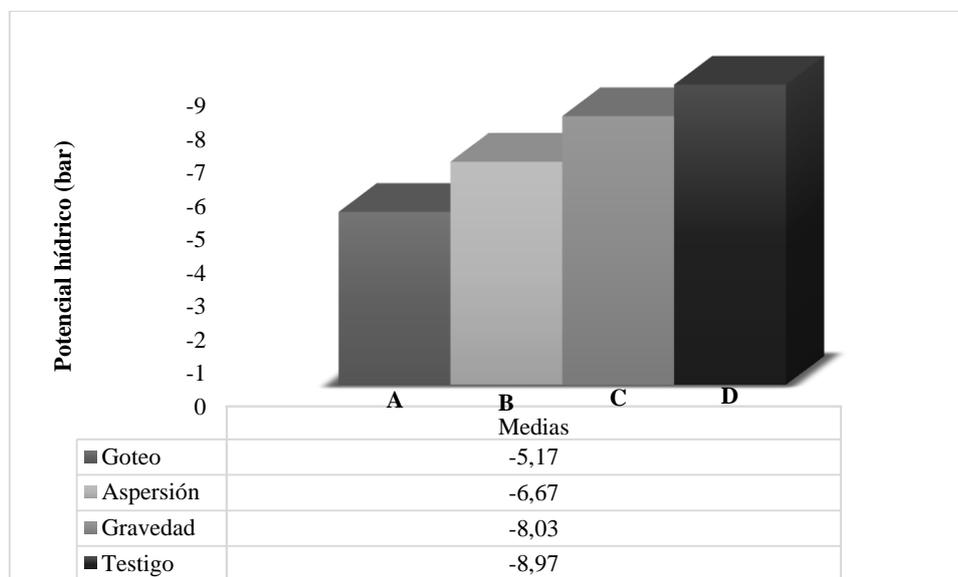


Gráfico 25-3. Potencial hídrico antes del riego a los 20 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se observa diferencias de potencial hídrico antes del riego para cada tratamiento a los 20 días correspondientes a la etapa inicial del cultivo, inicialmente se muestra que el tratamiento de goteo

fue el que menor estrés hídrico presento, a diferencia del tratamiento sin riego que fue el que presento mayor estrés hídrico por el mismo hecho del que está sometido a un déficit hídrico provocando estrés.

3.3.6.2. Potencial hídrico antes del riego a los 40 días

El análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 40 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 4.83%.

Tabla 24-3. Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	13.02	3	4.34	38.29	<0.0001	**
Error	0.91	8	0.11			
Total	13.93	11				
CV	4.83					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% en el potencial hidrico antes del riego a los 40 días, mostro diferencias estadísticas significativas formando 3 grupos, goteo con una media de -5.57 bares, los tratamientos de aspersión y gravedad con valores similares y el testigo con una media de -8.47 bares.

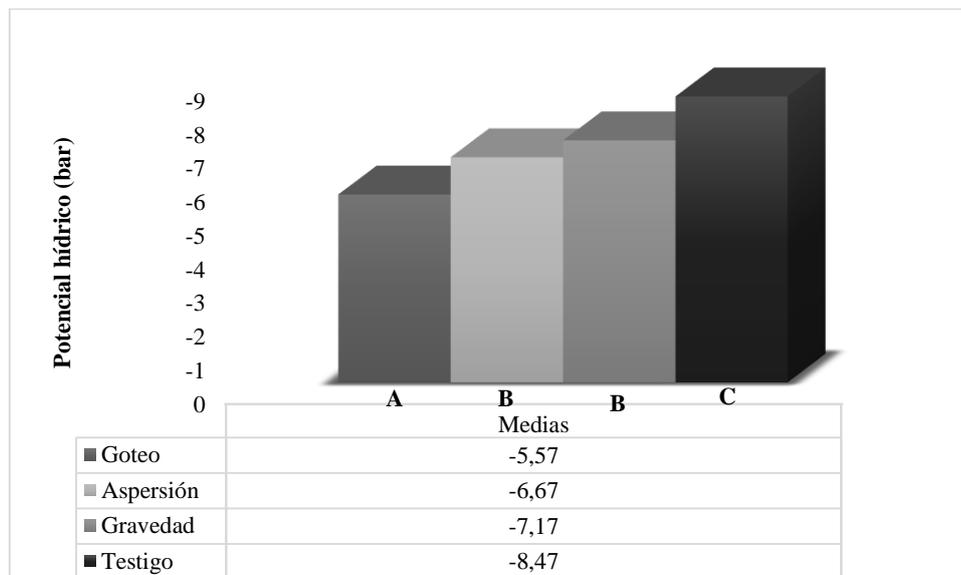


Gráfico 26-3. Potencial hídrico antes del riego a los 40 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se observa diferencias de potencial hídrico antes del riego para cada tratamiento a los 40 días correspondientes a la etapa de desarrollo del cultivo, a medida que el desarrollo de cultivo avanza, los valores de estrés hídrico van cambiando o se van estandarizando en cada tratamiento debido a las condiciones de humedad que presente el suelo y el ambiente.

3.3.6.3. Potencial hídrico antes del riego a los 80 días

El análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 80 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos. Con coeficiente de variación de 3.54%.

Tabla 25-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	13.48	3	4.49	72.88	<0.0001	**
Error	0.49	8	0.06			
Total	13.98	11				
CV	3.54					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La prueba de Tukey al 5% para el potencial hídrico antes del riego a los 80 días, presento cuatro grupos estadísticamente diferentes, primero goteo con una media de -5.53 bares, luego aspersión y gravedad, mientras que el testigo con una media de -8.4 bares.

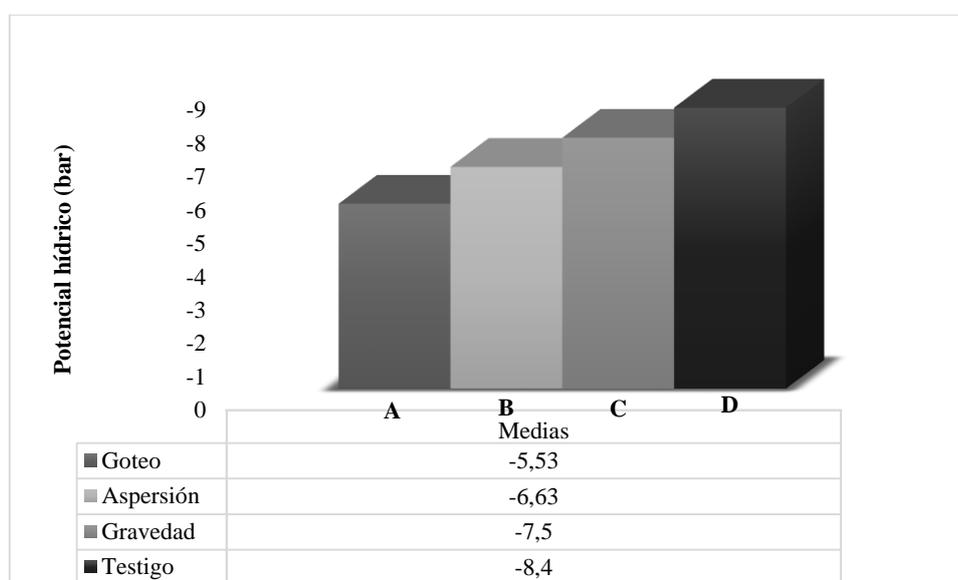


Gráfico 27-3. Potencial hídrico antes del riego a los 80 días.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Se observa diferencias de potencial hídrico antes del riego para cada tratamiento a los 80 días correspondientes a la etapa intermedia del cultivo, observando que el tratamiento con mayor estrés hídrico fue el tratamiento sin riego a diferencia de los otros tratamientos en estudio.

3.3.6.4. Potencial hídrico antes del riego a los 120 días

El análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 120 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 2.67%.

Tabla 26-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico antes del riego a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	25.63	3	8.54	197.15	<0.0001	**
Error	0.35	8	0.04			
Total	25.98	11				
CV	2.67					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el estrés potencial antes del riego a los 120 días, presento cuatro grupos, goteo con una media de -5.5 bares, seguido de aspersión, luego gravedad y por último el testigo con una media de -9.5 bares.

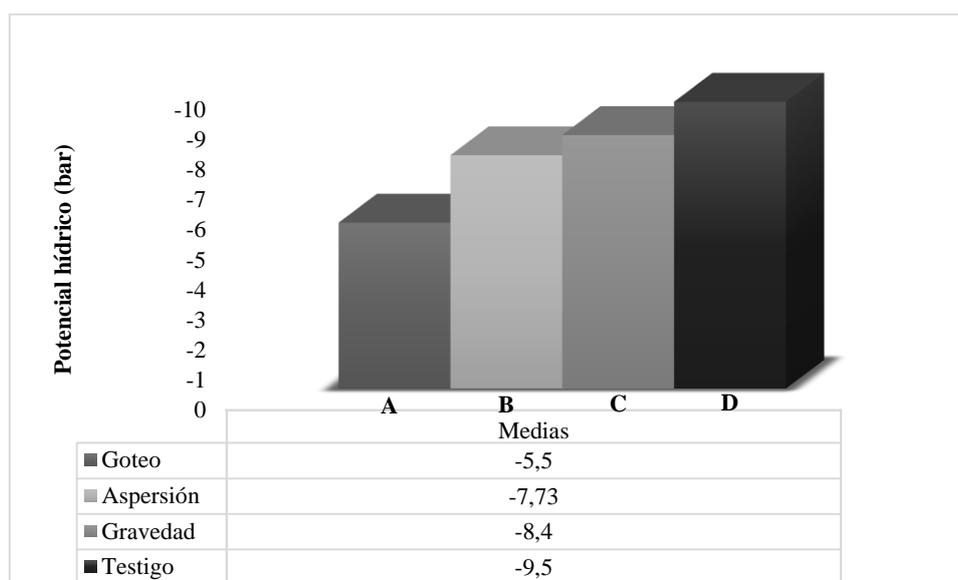


Gráfico 28-3. Potencial hídrico antes del riego a los 120 días.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

Luego de haber analizado los datos obtenidos a los 20,40,80 y 120 días, correspondientes a las etapas de inicio, desarrollo, intermedia y final se deduce que el método de riego que mantuvo con menos estrés hídrico al cultivo durante el tiempo que no se riega es el de goteo y a medida que el cultivo desarrolla las necesidades de agua aumentan, al notar un aumento en los valores de estrés hídrico expresado en bares, a diferencia del testigo que en la etapa final llega a -9.5 bares que s Vega y Mejía (2017, p. 6) esta aun dentro de la tolerancia del cultivo, siendo -10 bares el potencial xilemático letal para esta especie, donde las plantas entrarían en punto de marchitez permanente.

Cuando los valores indicados en la bomba scholander son entre los -7 o -9 nos da a conocer que la humedad en el suelo es muy baja, por lo que la presión necesaria para contener el agua en los tejidos de la planta es mayor, siendo lo contrario cuando el suelo está en capacidad de campo y la planta no realiza mayores esfuerzos para absorber y contener el agua, cuando la planta entra en estrés hídrico Mago, et al. (2020, p. 3) menciona que el mecanismo de respuesta es el ajuste osmótico donde la célula acumula solutos con el fin de mantener la turgencia, los daños por estrés se van acentuando según la intensidad y periodo de escases del agua en el suelo, además de detener el crecimiento y el metabolismo de la planta.

3.3.7. *Potencial hídrico después del riego*

3.3.7.1. *Potencial hídrico después del riego a los 20 días*

En el análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 20 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 8.56%.

Tabla 27-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 20 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	96.05	3	32.02	215.85	<0.0001	**
Error	1.19	8	0.15			
Total	97.24	11				
CV	8.56					

*: Significativo (p <0.05); **: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el potencial hídrico después del riego a los 20 días, evidencio diferencias estadísticas significativas para los tratamientos formando tres grupos, goteo y aspersión presentaron valores similares e inferiores a los demás tratamientos, luego gravedad con una media de -4.83 bares, mientras que el testigo una media de -8.97 bares.

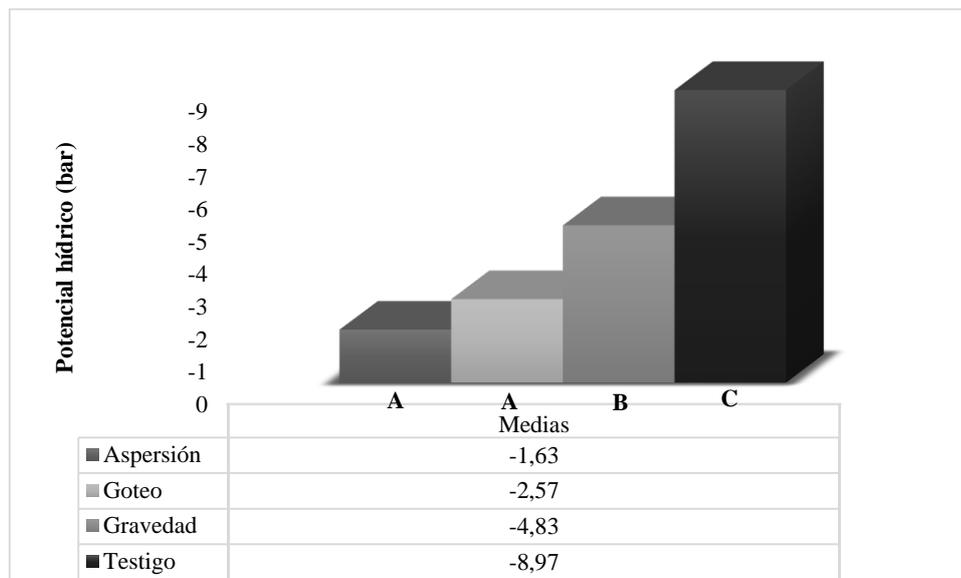


Gráfico 29-3. Potencial hídrico después del riego a los 20 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

En la gráfica 29-3 se observa diferencias de potencial hídrico después del riego para cada tratamiento a los 20 días correspondientes a la etapa inicial del cultivo, poniendo en primer lugar con valor bajos en estrés hídrico al método de riego por goteo seguido de los tratamientos de aspersión y gravedad con valores medios y por último el tratamiento sin riego con valores altos en estrés hídrico, debido a las láminas de riego aplicadas en los diferentes tratamientos y al déficit hídrico que es sometido dicho tratamiento.

3.3.7.2. Potencial hídrico después del riego a los 40 días

En el análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 40 días, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación del 11.47%.

Tabla 28-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 40 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	80.45	3	26.82	117.87	<0.0001	**
Error	1.82	8	0.23			
Total	82.27	11				
CV	11.47					

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el potencial hídrico después del riego a los 40 días, presenta tres grupos, goteo con una media de -1.7 bares, seguido de los tratamientos de aspersión y gravedad con medias similares, luego el testigo con una media de -8.47 bares.

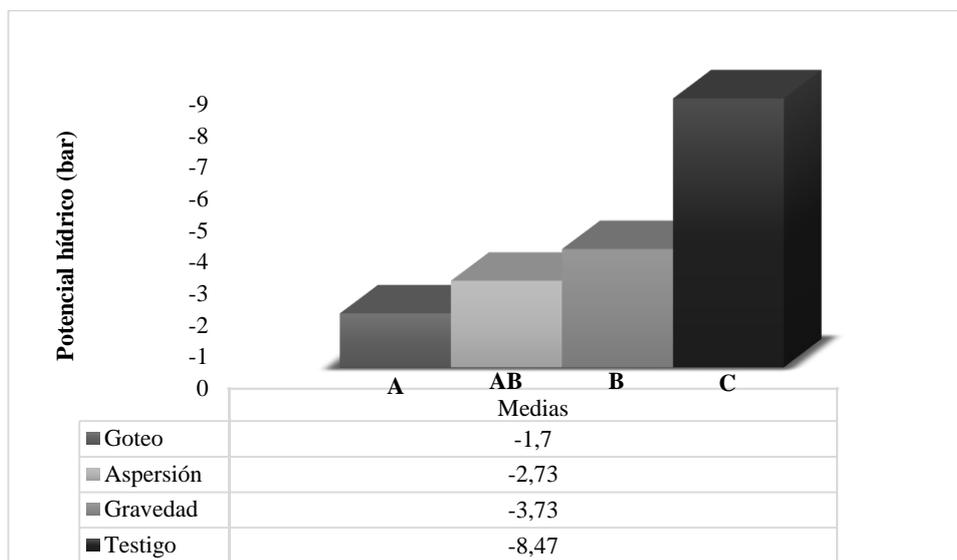


Gráfico 30-3. Potencial hídrico después del riego a los 40 días.

Realizado por: Vizuite, V.2022.

En la gráfica 30-3 se observa diferencias de potencial hídrico después del riego para cada tratamiento a los 40 días correspondientes a la etapa de desarrollo del cultivo, poniendo en primer lugar con valor bajos en estrés hídrico al método de riego por goteo, seguido de los tratamientos de aspersión y gravedad con valores similares pero diferentes de los demás tratamientos en estudio, a medida que la planta incrementa su desarrollo también aumentan sus necesidades hídricas he ahí las diferencias de estrés provocadas por las diferentes láminas de riego aplicadas en cada tratamiento.

3.3.7.3. Potencial hídrico después del riego a los 80 días

En el análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 80 días, presento diferencias estadísticas altamente significativas. Con un coeficiente de variación de 12.43%.

Tabla 29-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 80 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	67.95	3	22.65	64.1	<0.0001	**
Error	2.83	8	0.35			
Total	70.78	11				
CV	12.43					

*: Significativo (p <0.05); **: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el potencial hídrico después del riego a los 80 días, se observan diferencias estadísticas significativas dando tres grupos, goteo y aspersión con medias de -2.1 bares y -3.33 bares respectivamente, luego gravedad con una media de -5.3 bares y el testigo con una media de -8.8 bares.

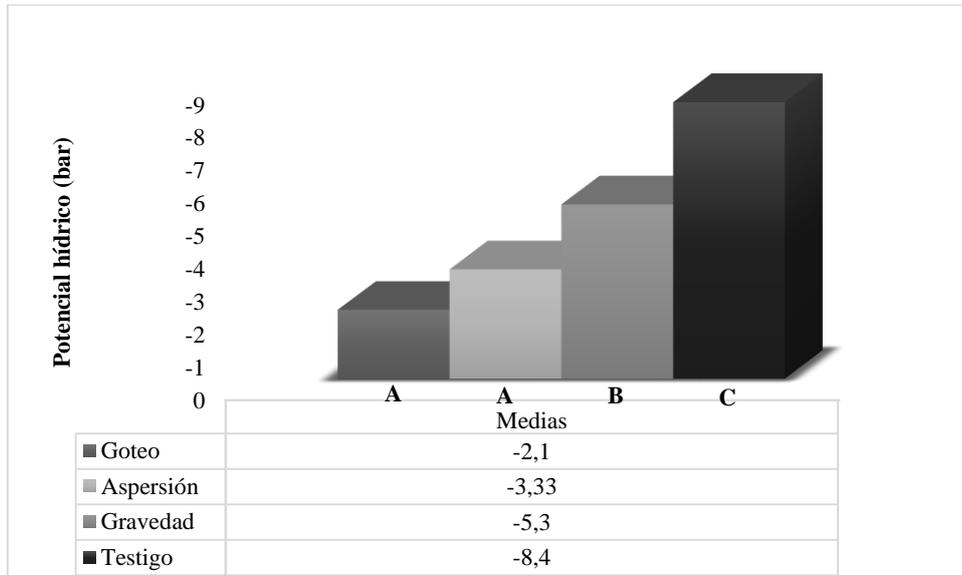


Gráfico 31-3. Potencial hídrico después del riego a los 80 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Se observa diferencias de potencial hídrico después del riego para cada tratamiento a los 80 días correspondientes a la etapa intermedia del cultivo, obteniendo valores similares de estrés hídrico en los métodos de riego por goteo y aspersión, mientras que en los métodos de gravedad y sin riego presentan valores diferentes de estrés hídrico.

3.3.7.4. Potencial hídrico después del riego a los 120 días

En el análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 120 días de ciclo de cultivo, se presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación del 6.96%.

Tabla 30-3: Análisis de varianza para el potencial hídrico después del riego a los 120 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	79.45	3	26.48	152.05	<0.0001	**
Error	1.39	8	0.17			
Total	80.84	11				

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el potencial hídrico después del riego a los 120 días, presento tres grupos, goteo con una media de -2.23 bares, luego gravedad y aspersión con valores similares y finalmente el testigo con una media de -9.5 bares.

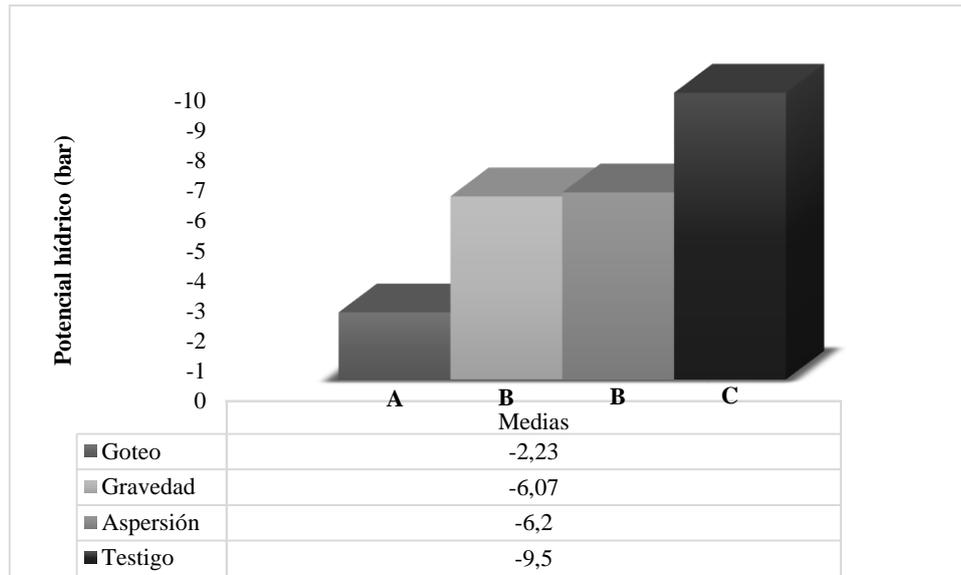


Gráfico 32-3. Potencial hídrico después del riego a los 120 días.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Luego de aplicar el riego en tres de los cuatro tratamientos se puede observar que el método de riego por goteo reduce en gran medida el estrés hídrico en las plantas, deduciendo que las plantas no tienen dificultades en la absorción y retención del agua en su interior, además conocer las condiciones de humedad en la que se encuentra el suelo.

Los tratamientos de gravedad y aspersión no reducen por completo el estrés hídrico de las plantas y no muestran diferencias entre ambos, mientras que el testigo, al no aplicar riego se mantiene cerca del punto de marchitez permanente al estar cerca de los -10 bares y solo depender de las precipitaciones.

Los valores obtenidos en esta investigación son similares a los proporcionados por Vega y Mejía (2017, p. 3), donde después de aplicar riego y tomar los datos a las 24 horas los valores están entre los -4 y -5 bares, difiriendo con -1 o -2 bares con los tratamientos de goteo, aspersión y gravedad.

3.3.8. Contenido relativo de agua (%WRC)

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua de la planta, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 2.64%.

Tabla 31-3: Análisis de varianza para el contenido relativo de agua.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	4192.26	3	1397.42	437.54	<0.0001	**
Error	25.55	8	3.19			
Total	4217.81	11				
CV	2.64					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizquete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido relativo de agua, presenta cuatro grupos, goteo con una media de 89.42 %, luego aspersión y gravedad, mientras que el testigo obtuvo una media de 41.5 %.

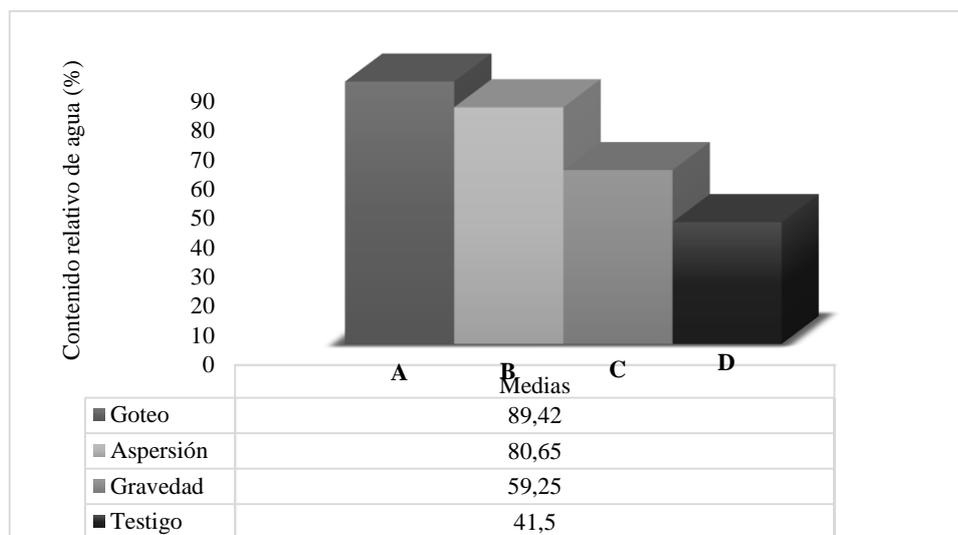


Gráfico 33-3. Contenido relativo de agua.

Realizado por: Vizquete, V. 2022.

La diferencia del contenido relativo de agua (WRC) es influenciada por la aplicación de las láminas de riego en cada uno de los tratamientos. Según Millar (1997, p.15), señala que durante los periodos de déficit de agua en el suelo, provoca una reducción en el flujo de CO_2 afectando el proceso de fotosíntesis y la de producción de materia seca.

3.3.9. Materia seca

3.3.9.1. Materia seca de la vaina (%)

En el análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la vaina, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 2.33%.

Tabla 32-3: Análisis de varianza para la materia seca de la vaina.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	783.44	3	261.15	945.92	<0.0001	**
Error	2.21	8	0.28			
Total	785.65	11				
CV	2.33					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizueté, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de materia seca de la vaina, evidencio diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos, primero el testigo con una media de 35.9 %, luego gravedad y aspersión y por último goteo con una media de 14.6%.

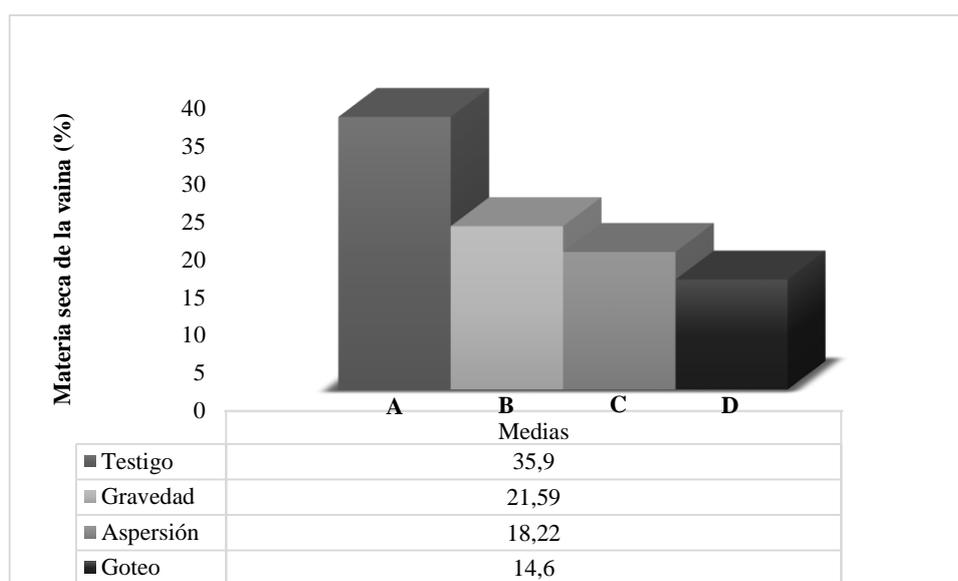


Gráfico 34-3. Materia seca de la vaina.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

3.3.9.2. *Materia seca de la planta (%)*

En el análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la planta, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 2.76 %.

Tabla 33-3: Análisis de varianza para la materia seca de la planta.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	24.5	3	8.17	26.33	0.0002	**
Error	2.48	8	0.31			
Total	26.98	11				
CV	2.76					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para la materia seca de la planta, presento dos grupos estadísticamente diferentes, el testigo y aspersion con una media de 22.05% y 21.12% respectivamente, mientras que goteo con una media de 18.83% y gravedad con una media de 18.78%.

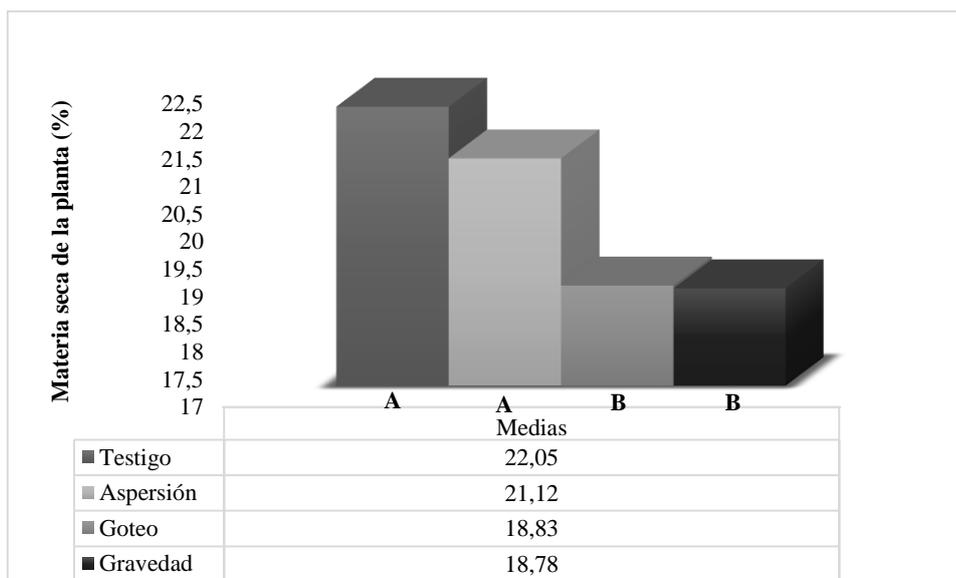


Gráfico 35-3. Materia seca de la planta.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

La comparación ortogonal para materia seca (MS) de la planta presentó diferencias altamente significativas para los tratamientos, indicando que la cantidad de materia seca de las plantas es diferente en cada tratamiento.

Según Rodríguez (2014, p.3), en el caso del frejol, la movilización de los foto asimilados hacia el grano es de mayor intensidad durante los últimos días del ciclo del cultivo; en esta parte del cultivo se concentra la mayor parte del peso seco de la planta. Gaïbor (2019, p.79) menciona que el índice de cosecha, es un indicador de la distribución de materia seca en el cultivo de fréjol, que resulta de la relación del rendimiento entre el peso seco total.

Así también Peil y Gálvez (2005, p. 6) señalan que en los cultivos de fruto, una vez concluida la fase de crecimiento vegetativo, los frutos inician su desarrollo, pasando a ser cosechados continuamente durante un período, en donde los restantes órganos de la planta continúan su crecimiento, de manera que los frutos constituyen los principales órganos sumideros que compiten entre ellos y con los órganos vegetativos por los asimilados disponibles.

En las primeras etapas de desarrollo gran parte de la materia seca acumulada se invirtió en el material vegetativo y con el aumento de edad de la planta se produjo un incremento gradual hacia los frutos.

Peil y Gálvez (2005, p. 7) indicaron que la gran variación en la distribución de materia seca, que suele producirse durante un ciclo de cultivo, puede ocasionar reducción en la producción y variabilidad en la calidad de los frutos.

3.3.10. Rendimiento

3.3.10.1. Rendimiento en kilogramos por parcela neta

En el análisis de varianza para el rendimiento de la parcela neta, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación del 1.47%.

Tabla 34-3: Análisis de varianza para el rendimiento en kilogramos por parcela neta.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	24554.43	3	8184.81	6820.67	<0.0001	**
Error	9.6	8	1.2			
Total	24564.03	11				
CV	1.47					

*: Significativo (p <0.05); **: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

Las comparaciones ortogonales para el rendimiento en kilogramos por parcela neta, presento diferencias altamente significativas entre los tratamientos, el tratamiento con mayor rendimiento por parcela neta fue en goteo con una media de 126.28 kg, luego aspersión y gravedad, mientras que el de menor rendimiento fue el tratamiento sin riego con una media de 22.5 kg.

Tabla 35-3: Comparaciones ortogonales para el rendimiento en kilogramos por parcela neta.

Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
aspersión-goteo-gravedad vs testigo	10795.21	1	10795.21	7343.68	<0.0001	**
goteo vs aspersión-gravedad	5523.01	1	5523.01	3757.15	<0.0001	**
goteo-aspersión vs gravedad-testigo	23869.92	1	23869.92	16238.04	<0.0001	**
Total	24554.43	3	8184.81	5567.9	<0.0001	

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

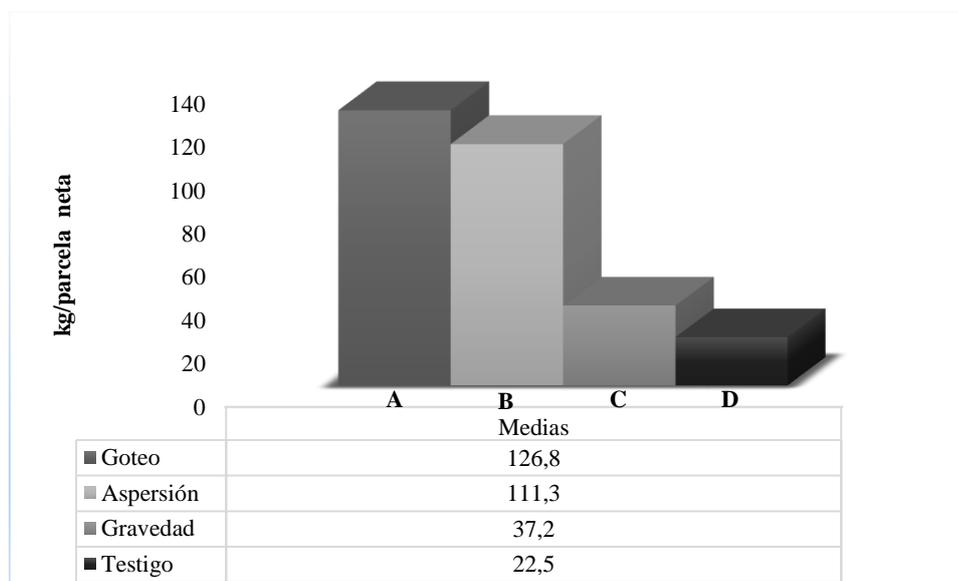


Gráfico 36-3. Rendimiento en kilogramos por parcela neta.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

La variable rendimiento/parcela neta, es influenciada por la interacción genotipo ambiente. El tratamiento por goteo se desarrolló favorablemente, presentando mayor altura de planta, mayor diámetro del tallo, mayor número de hojas, mayor número de vainas y mejor presentación de las vainas (forma, llenado, textura) los cuales contribuyeron a obtener mayor rendimiento por parcela neta.

3.3.10.2. Rendimiento total en kilogramos por hectárea (kg/ha)

En el análisis de varianza para el rendimiento en kg/ha, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación del 1.52%.

Tabla 36-3: Análisis de varianza para el rendimiento total en kilogramos por hectárea.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	162599876.8	3	54199958.9	6066.76	<0.0001	**
Error	71471.36	8	8933.92			
Total	162671348.1	11				
CV		1.52				

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

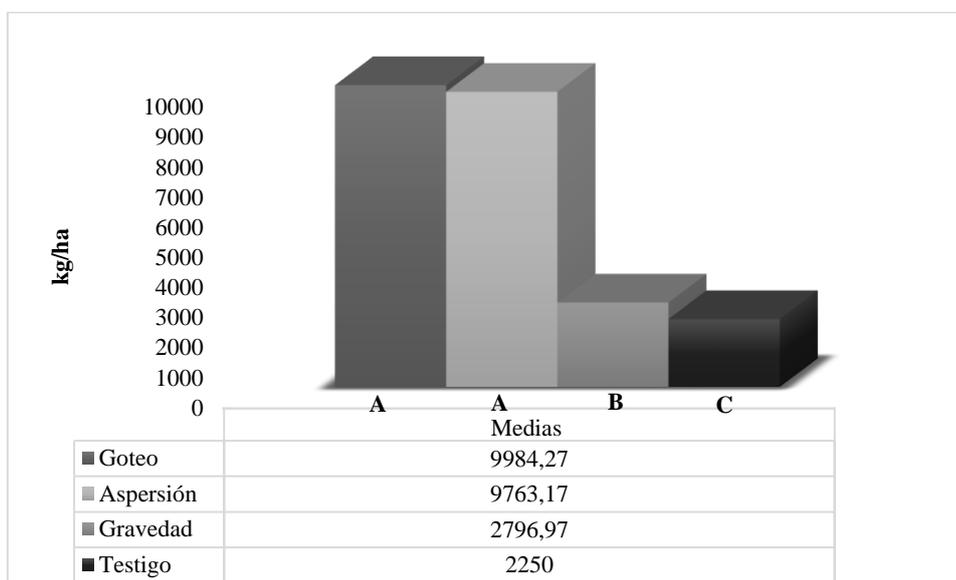


Gráfico 37-3. Rendimiento en kilogramos por hectárea.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Tabla 37-3: Comparaciones ortogonales para el rendimiento en kilogramos por hectárea.

Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
c1 = aspersión-goteo-gravedad vs testigo	62365767.8	1	62365767.8	5737.31	<0.0001	**
c2= goteo vs aspersión	73327.82	1	73327.82	6.75	0.0408	*
c3= goteo-aspersión vs gravedad-testigo	162077790	1	162077790	14910.27	<0.0001	**
Total	162599877	3	54199958.9	4986.1	<0.0001	

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

La media más alta de rendimiento se registró para el tratamiento de goteo y aspersión con una media de 9984.27 kg/ha y 9763.17 kg/ha que son similares, mientras que la más baja fue el tratamiento sin riego con una media de 2250 kg/ha. Por lo que se puede deducir que el tratamiento con mejores resultados obtenidos en todas las variables en estudio fue el tratamiento por goteo, asumiendo que la eficiencia de riego por goteo y el adecuado manejo de cultivo, intervinieron en el rendimiento.

El rendimiento máximo obtenido para el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L) var canarillo mejorado, es de 9984,27 kg/ha por riego por goteo y que es similar en aspersión, los valores concuerdan con lo obtenido por Curay (2019, p. 66) donde al evaluar tres variedades de frejol arbustivo obtiene rendimientos cercanos a las 10 T/ha para frejol canario cosechado tierno en vaina y que comparte similares características con el frejol canarillo que es ligeramente más pequeño o con la variedad mantequilla que bordea las 8.7 T/ha, el rendimiento puede variar de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del sector, pero que al comparar los métodos de riego se observan bajos rendimientos con riego por gravedad y sin riego.

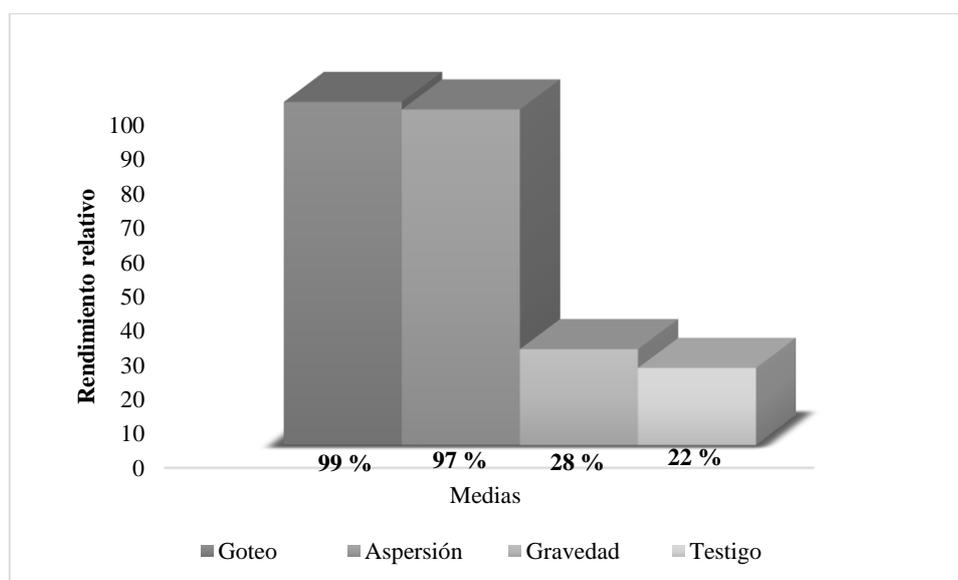


Gráfico 38-3. Rendimiento relativo por tratamiento considerando 10 T/ha.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

En el gráfico 38-3 se observa el rendimiento relativo por tratamiento considerando 10 T/ha, donde, los tratamientos con valores más cercanos al 100% fueron, goteo y aspersión con un 99 y 97% respectivamente, mientras que los tratamientos con valores que no superan el 50% fueron, gravedad y testigo con 28 y 22% cada uno.

Para Ugalde, F. (2011, p.6), la instalación de un sistema de riego tecnificado puede aumentar de manera drástica la productividad del frejol en aproximadamente un 85% que al usar el método de riego tradicional, así como lo evidenciado en la presente investigación, sin olvidar el costo de instalación y mantenimiento, lo valores son relativos en comparación a la rentabilidad a largo plazo, se estima que el costo se puede recuperar en cuatro ciclos de cultivo y el funcionamiento puede durar correctamente 4 a 5 veces más.

En términos de ahorro de agua o eficiencia en el uso del agua, el método de riego por goteo puede llegar a elevar según Flores, J. et al (2017, pp.16-17), un 32% por lo menos al producir 1 kg de frejol por cada metro cubico de agua por cada ciclo y al considerar una vida útil del sistema de goteo de 10 años, la eficiencia se multiplica siendo mayor en sectores donde hay poca disponibilidad de agua.

3.3.11. Huella hídrica

3.3.11.1. Huella hídrica verde

El análisis de varianza para la huella hídrica verde, presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación del 1.59%.

Tabla 38-3: Análisis de varianza para la huella hídrica verde.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	1472069.67	3	490689.89	5840.97	<0.0001	**
Error	672.07	8	84.01			
Total	1472741.73	11				
CV	1.59					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizúete, V. 2022.

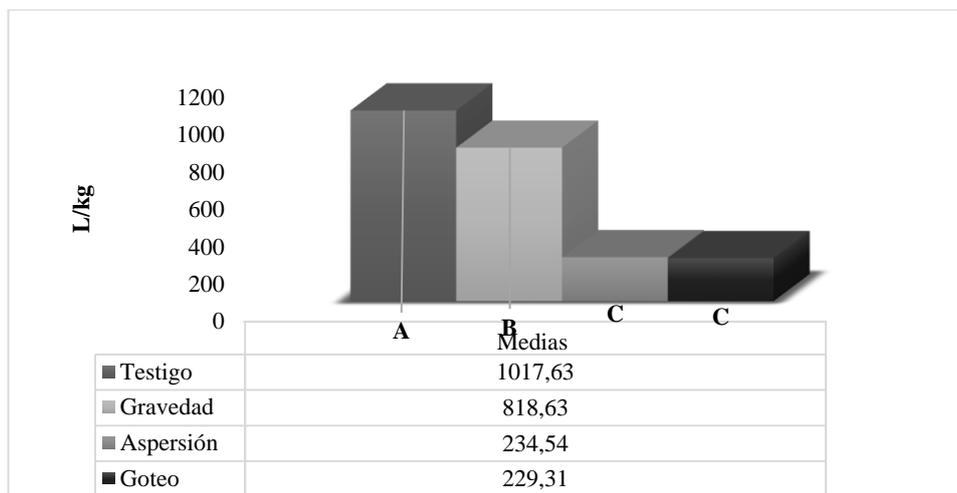


Gráfico 39-3. Huella hídrica verde.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Tabla 39-3: Comparaciones ortogonales para la huella hídrica verde.

Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
c1= aspersión-goteo-gravedad vs testigo	783590.84	1	783590.84	11277.68	<0.0001	**
c2= aspersión-goteo vs gravedad	688437.69	1	688437.69	9908.21	<0.0001	**
c3= gravedad vs testigo	59403.49	1	59403.49	854.95	<0.0001	**
Total	1472028.53	2	736014.27	10592.94	<0.0001	

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

Las comparaciones ortogonales para la huella hídrica verde, presentó diferencias altamente significativas entre todos los tratamientos, el tratamiento con mayor huella hídrica verde fue el testigo con una media de 1017.63 L/kg, y el tratamiento con menor huella hídrica fue goteo con una media de 229.31 L/kg.

El tratamiento que más utilizó agua de lluvia para producir un kilogramo de frejol en la variedad canarillo fue el testigo, esto es debido al bajo rendimiento obtenido en este tratamiento, esta variable es totalmente dependiente de las condiciones climáticas, en la investigación realizada por Gaibor (2017, p. 117) en el cantón Riobamba en frejol de variedad calima, obtiene un valor entre los 700 a 1000 L/kg de huella hídrica, dentro del sector depende de la época de siembra, el tratamiento más cercano a estos valores fue en gravedad con 818.63 L/kg, y los tratamientos que ocuparon menor cantidad de agua fue goteo y aspersión, por lo que se demuestra un uso más eficiente del agua.

3.3.11.2. Huella hídrica azul

En el análisis de varianza para la huella hídrica azul, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 2.08%.

Tabla 40-3: Análisis de varianza para la huella hídrica azul.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	1055812.35	3	351937.45	10987.52	<0.0001	**
Error	256.25	8	32.03			
Total	1056068.6	11				
CV	2.08					

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

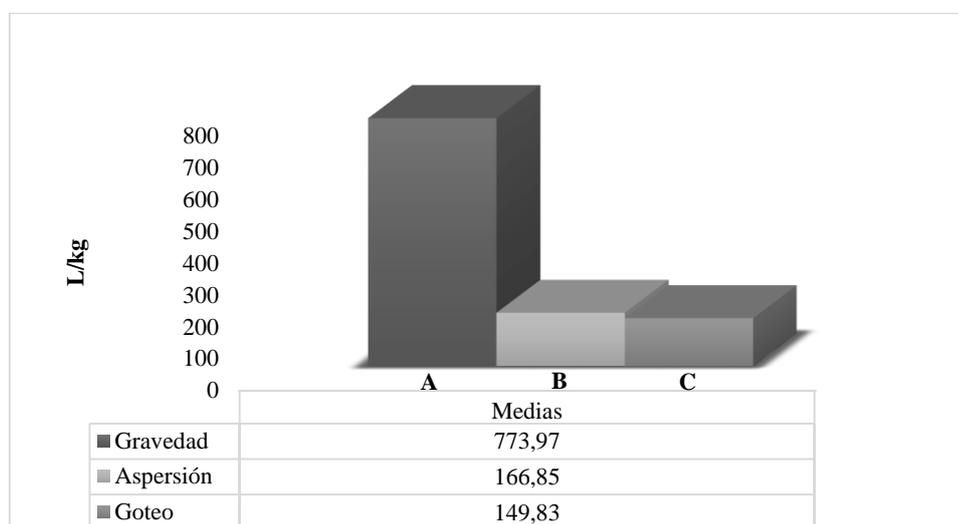


Gráfico 40-3. Huella hídrica azul.

Realizado por: Vizuet, V. 2022.

Tabla 41-3: Comparaciones ortogonales para la huella hídrica azul.

Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
c1= aspersión-goteo-gravedad vs testigo	297381.17	1	297381.17	8318.03	<0.0001	**
c2= goteo vs aspersión	434.69	1	434.69	12.16	0.013	*
c3= gravedad vs aspersión-goteo	757996.49	1	757996.49	21201.88	<0.0001	**
Total	1055812.35	3	351937.45	9844.03	<0.0001	

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuet, V. 2022.

Las comparaciones ortogonales para la huella hídrica azul, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, el tratamiento con mayor huella hídrica azul fue gravedad con una media de 773.97 L/kg y el tratamiento con menor huella hídrica azul es goteo con 149.83 L/kg.

La huella hídrica corresponde al agua empleada por riego para producir un kilogramo en este caso de frejol, las diferencias entre tratamientos se deben a la eficiencia de aplicación y uso del agua por el cultivo y que según el rendimiento el agua utilizada puede ser mayor o menor, según Bolaños (2011, p. 23) la huella hídrica más baja según 16 localidades es de 377.1 L/kg para el cultivo de frejol, esta diferencia es posiblemente al método de riego empleado en el cultivo de frejol, por las características del suelo o relieve en la que se encuentran y la variedad de frejol empleada, se evidencia que el método de riego por goteo y aspersión aprovechar mejor el agua que se les dispone y que las plantas usan para un mejor rendimiento.

3.3.11.3. *Huella hídrica de materia seca*

El análisis de varianza para la huella hídrica considerando la materia seca de la planta, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. Con un coeficiente de variación de 3.89%

Tabla 42-3: Análisis de varianza para la huella hídrica de materia seca.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	85750588.3	3	28583529.44	1041.24	<0.0001	**
Error	219612.1	8	27451.51			
Total	85970200.4	11				
CV	3.89					

*: Significativo (p <0.05); **: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

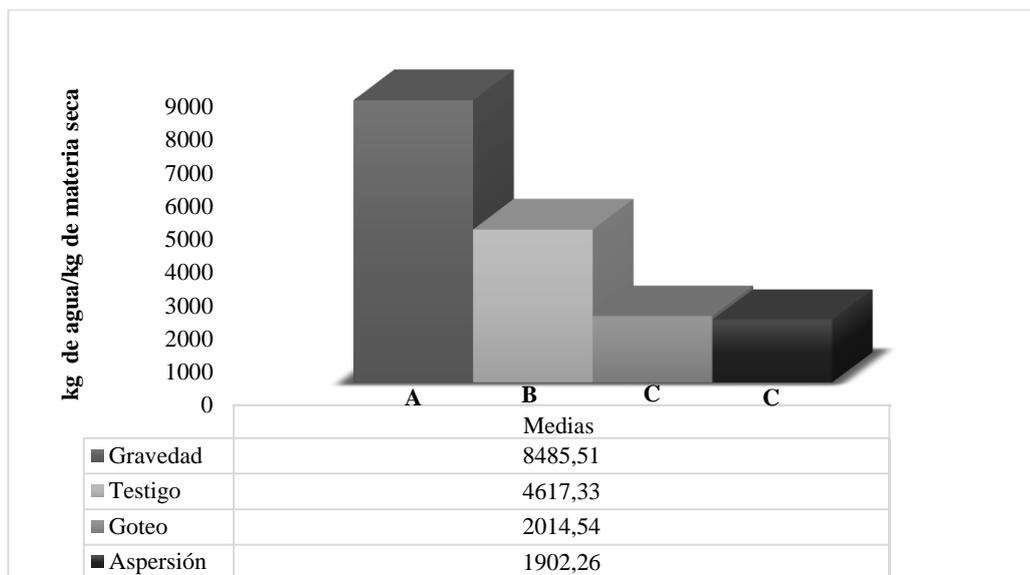


Gráfico 41-3. Huella hídrica en materia seca.

Realizado por: Vizuete, V. 2022.

Tabla 43-3: Comparaciones ortogonales para la huella hídrica de materia seca.

Tratamientos	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
c1= Goteo vs aspersión	1.89E+04	1	1.89E+04	0.69	0.4306	ns
c2=gravedad vs testigo	257526624.1	1	257526624	9381.15	<0.0001	**
c3= goteo-aspersión vs gravedad	85206286.39	1	85206286.4	3103.88	<0.0001	**
Total	257547308.6	3	85849102.9	3127.3	<0.0001	

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuete, V. 2022.

Las comparaciones ortogonales para la huella hídrica con materia seca, presentaron diferencias altamente significativas al comparar el tratamiento de gravedad con una media de 8485.51 Kg de agua/kg de materia seca vs testigo con una media de 4617.33 kg de agua/kg de materia seca, al comparar el tratamiento de goteo vs aspersión, no presentaron diferencias significativas, es decir que ambos tratamientos tienen similar huella hídrica con materia seca.

El tratamiento con mayor huella hídrica considerando la materia seca fue gravedad con una media de 8485.51 L/kg, un estudio realizado por Ríos, J. et al (2017, p. 6) indica que al producir de manera convencional el frejol la huella hídrica en grano seco es de 8442 L/kg, similar al método de gravedad y que al emplear un sistema de riego por goteo la eficiencia del agua aumenta en un 32% y que los ingresos brutos incrementan en un 47 %. El método de riego por aspersión y goteo emplean casi 6 veces menos agua que gravedad con un valor de 1902.26 L/kg y 2014.54 L/kg cada uno.

3.4. Eficiencia de riego

El análisis de varianza para la eficiencia de riego, presento diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 3.48%.

Tabla 44-3: Análisis de varianza para la eficiencia de riego.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Modelo	1995.29	2	997.64	134.47	<0.0001	**
Tratamientos	1995.29	2	997.64	134.47	<0.0001	**
Error	44.51	6	7.42			
Total	2039.8	8				
CV			3.48			

*: Significativo ($p < 0.05$); **: altamente significativo ($p < 0.01$); ns: no significativo ($P > 0.05$).

Fuente: Vizuite, V. 2022.

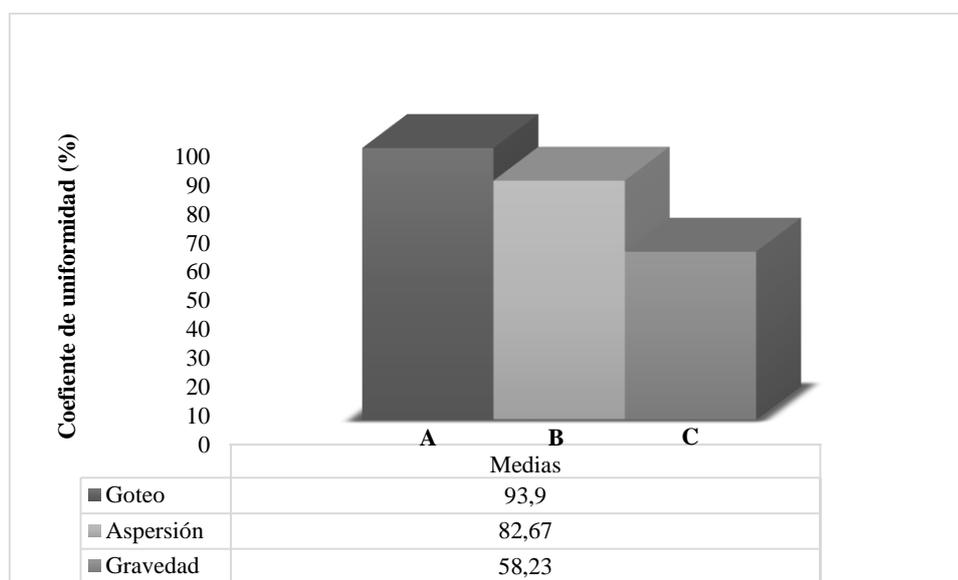


Gráfico 42-3. Coeficiente de uniformidad.

Realizado por: Vizuite, V. 2022.

La eficiencia de aplicación en cada uno de los métodos de riego se evidencia en el gráfico 42-3, donde existen diferencias significativas entre todos los tratamientos con riego, goteo llega a tener una media de 93.9%, luego aspersión con una media de 82.67% y finalmente el método de riego tradicional de gravedad con el 58.23% considerando el uso de la tubería secundaria flexible empleada que ayuda a elevar la eficiencia al evitar pérdidas de agua en la conducción.

Considerando la distribución del agua en el cultivo Ortiz & Larios (2020, pp.8-9), menciona que al reducir el volumen de agua aplicado con menor tiempo de aplicación, el sistema de riego que asegura aplicar una menor cantidad de agua es más eficiente y considera que aplicar un mayor

volumen de agua se obtiene una menor productividad, al hacer una buena gestión del agua los requerimientos hídricos necesarios para el cultivo de frejol maximizan el rendimiento por unidad de superficie y sin que el cultivo se vea afectado. Tanto goteo como aspersión pueden reducir el uso del agua en un 21.6% o 46.8% y aumentar su productividad según el cultivo en un 17% y 32%, considerando siempre que el uso eficiente del agua no tiene que ver con aumentar o disminuir el volumen aplicado, sino con el uso preciso e indicado en el momento justo.

3.5. Volumen de agua aplicado

La cantidad de agua aplicada en cada tratamiento para el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L) var. Canarillo mejorado, se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 45-3: Lámina de riego aplicada en cada tratamiento.

Tratamientos	Lamina total (L/m ²)	Lamina aportada por riego (L/m ²)	Lamina aportada por precipitaciones (L/m ²)
Gravedad	445.39	216.45	228.94
Goteo	378.53	149.59	228.94
Aspersión	391.81	162.87	228.94
Testigo	228.94	0	228.94

Realizado por: Vizúete, V. 2022.

La tabla 45-3 expone el requerimiento hídrico del cultivo de Frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado, donde el testigo sin riego tiene un valor acumulado por precipitaciones de 228.94 mm, el tratamiento por goteo con una lámina acumulada de 378.53 mm, luego el tratamiento de aspersión con una lámina total de 391.81 mm y finalmente el tratamiento de gravedad con una lámina acumulada entre riego y precipitaciones de 445.39 mm.

Los requerimientos hídricos en el cultivo de frejol son similares a lo indicado por Usabiaga, J. et al (2001, p. 23) con 400 mm durante el ciclo de cultivo de frejol con una duración de 120 días y contrasta con el método de riego por aspersión con 391.81 mm, las láminas de riego varían dependiendo de las condiciones edafoclimáticos del sector y el método de riego utilizado, ya que habrá que reponer el porcentaje de pérdida de agua para cumplir con las necesidades hídricas del cultivo, esto lo menciona López, et al (2011) citado por Chavarría, J. et al (2020, p. 3) donde en suelos arcillosos a limosos los requerimientos están entre los 352 mm y 432 mm, mientras que en suelos arenosos las necesidades hídricas se encuentran alrededor de los 415 mm y 498 mm.

3.6. Análisis económico

Tabla 46-3: Relación beneficio-costo

Tratamientos	Ingreso total (\$)	Costo total (\$)	B/C
Aspersión	720	320	2.25
Goteo	900	370	2.43
Gravedad	330	270	1.22
Testigo	150	155	0.97

Fuente: Vizuite, 2022.

Al culminar el trabajo de investigación el tratamiento que obtuvo mayor beneficio fue goteo con un valor de 900 \$ y una relación beneficio costo de 2.43, es decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 1,43 dólares, luego está el método de riego por aspersión con un beneficio de 720\$ y una relación beneficio costo de 2.25, es decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y se obtiene una ganancia de 1,25 dólares, mientras que el método de riego por gravedad obtuvo un beneficio de 330 \$ con una relación beneficio costo de 1.22, se recupera el dólar invertido y se obtiene una ganancia de 0,22 dólares y por último se encuentra el tratamiento sin riego con una relación beneficio costo de 0.97, donde no se recupera el dólar invertido y se están generando pérdidas.

CONCLUSIONES

El mejor método de riego para el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Canarillo mejorado es goteo con un coeficiente de uniformidad del 93.9% lo que representa una mejor utilización del agua en el cultivo, llegando a utilizar 149.59 mm de lámina de riego, con un rendimiento de 9984.27 kg/ha que es similar a lo obtenido en aspersión con un valor de 9763.17 kg/ha, sin embargo, el valor comercial con aspersión es menor al tener mayor incidencia de plagas y enfermedades en el producto.

El coeficiente de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L). Var canarillo mejorado, ajustado por lisimetría para la etapa inicial fue de 0.4, en desarrollo con 1.0, en la etapa intermedia con 1.2 y luego en la etapa final con un valor de 0.8.

El tratamiento que presento menor huella hídrica verde y azul fue goteo con la aplicación de 229.31 L/kg y 149.83 L/kg respectivamente, los tratamientos con menor huella hídrica considerando la materia seca fue aspersión y goteo con valores de 1902.26 Kg agua/kg y 2014.54 kg agua/kg para cada uno.

Se determinó que el tratamiento con mayor relación beneficio costo fue goteo con un valor de 2.43.

RECOMENDACIONES

Emplear un sistema de riego tecnificado, de preferencia por goteo, para obtener un mayor rendimiento y rentabilidad en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L) var, canarillo mejorado.

Utilizar los valores kc obtenidos en la investigación para hacer un mejor uso eficiente del agua en los sectores aledaños a la estación experimental Tunshi – centro experimental del riego.

Realizar una re calibración capa por capa de los lisímetros de drenaje en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, E. et al. “Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva”. *Terra latinoamericana* [en línea], 2004, (México) 22 (1), p. 6. [Consulta: 15 abril 2021]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311208006.pdf>

ALBUJA GUEVARA, Wilman Fabricio. Análisis epidemiológico y comportamiento agronómico del manejo de la diversidad genética de fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en Cotacachi, Imbabura [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad central del Ecuador. (Quito-Ecuador). 2016. pp. 8-9-10. [Consulta: 19-04-2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8224/1/T-UCE-0004-52.pdf>

ALLEN, Richard; et al. *Evapotranspiración del cultivo* [en línea]. 56° ed. Roma: Fao. 2006, pp. 48-132 [Consulta: 22 abril 2021]. ISBN 9253042192. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

ALOMOTO PANOLUISA, Segundo Wladimir. Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el CADET, 2018 [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad central del Ecuador. (Quito-Ecuador). 2020. pp. 15. [Consulta: 23-12-2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20454/3/T-UCE-0004-CAG-206.pdf>

APAZA MAMANI, Darwin Fray, & JHONS LA TORRE, Irvin Javier. Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología arduino en el laboratorio de control y automatización epime 2016 [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad nacional del Altiplano. (Puno-Perú). 2017. pp. 18. [Consulta: 20-04-2021]. Disponible en: http://181.176.163.136/bitstream/handle/UNAP/5970/Apaza_Mamani_Darwin_Fray_La_Torre_Javier_Irvin_Jhons.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARIAS, J. et al. “Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble”. *FAO* [en línea], 2007, (Colombia) pp. 15. [Consulta: 17 abril 2021]. ISBN 978-92-5-305827-3. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1359s/a1359s.pdf>

AZCÓN BIETO, Joaquín, & TALÓN, Manuel. *Fundamentos de fisiología vegetal* [en línea]. 2° ed. Madrid-España: McGRAW-HILL, 2013. [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en:

<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon.pdf>

BATISTA, E. et al. “Variabilidad y relaciones fenotípicas en variables morfoagronómicas en genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)”. *Centro agrícola* [en línea], 2017, (Cuba) 44 (2), pp. 4-5. [Consulta: 12 enero 2022]. ISSN 2072-2001. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n4/cag09417.pdf>

BOLAÑOS BOLAÑOS, Maria Eugenia. Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras [en línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad Zamorano, Honduras. 2011. p. 23. [Consulta: 2022-01-23]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/75/1/AGN-2011-T009.pdf>

BUSTAMANTE, W. et al. “Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático”. *Instituto Mexicano de tecnología del agua* [en línea], 2012, (México) 4 (1), pp. 77-78. [Consulta: 18 abril 2021]. ISBN 978-607-7563-55-6. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233387152_La_adaptacion_de_la_agricultura_de_riego_ante_el_cambio_climatico

CADENA, V. “Hablemos de riego” [en línea]. 2° ed. Ecuador: 2016, pp. 40-41. [Consulta: 22 abril 2021]. ISBN 978-9942-11-054-1. Disponible en: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>

CALVACHE, M. et al. “Deficiencia de agua en el suelo y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de fréjol *Phaseolus vulgaris* L”. *Selva Andina Biosph* [en línea], 2017, (Ecuador) 5(2), p. 8. [Consulta: 18 marzo 2022]. ISSN 2308-3839. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v5n2/v5n2_a04.pdf

CATALÁN, E. et al. “Programa para calcular las demandas de agua y calendarizar el riego de los cultivos”. *INIFAP* [en línea], 2007, (México) 7 (1), pp. 4-6. [Consulta: 17 abril 2021]. ISBN 970-43-0049-2. Disponible en: http://189.194.30.186/demo/modulo/Folletos%20tecnicos/2007/7_Programa%20para%20Calcular%20las%20Demandas%20de%20Agua%20y%20Calendarizar%20el%20Riego%20de%20los%20Cultivos.pdf

CURAY PALATE, Jessica Daniela. Evaluación agronómica de tres variedades de Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo las condiciones climáticas de la comunidad de Rumichaca

del cantón Pelileo [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica de Ambato, Cevallos-Ecuador. 2019. p. 66. [Consulta: 2021-01-19]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30037/1/Tesis-237%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20640.pdf>

CHAVARRÍA, J. et al. “Necesidades hídricas del fríjol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) calculadas con el coeficiente de cultivo utilizando lisímetro de drenaje”. *Ciencia y agricultura* [en línea], 2020, (Colombia), 17 (3), p. 3. [Consulta: 20 enero 2022]. ISSN 0122-8420. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746>

DIAZ, J. *Riego por gravedad* [en línea]. Cali- Colombia: Universidad del Valle, 2006. [Consulta: 25 abril 2021]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/j.ctv14nphbb>

DORRENBOS, J. & PRUITT, W. “Las necesidades de agua de los cultivos”. *FAO* [en línea], 1977, (Italia) Riegos y drenajes (24), p. 7. [Consulta: 23 abril 2021]. ISSN 1014-2924. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/508532856/FAO-24-Las-Necesidades-de-Agua-de-Los-Cultivos>

ENCISO, J. et al. “Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego”. *Sistema universitario Texas* [en línea], 2005, (Estados Unidos de América), p. 2. [Consulta: 18 abril 2021]. Disponible en: <https://fdocuments.ec/document/uso-de-sensores-de-humedad-del-suelo-para-eficientizar-el-juan-m-enciso-dana.html>

EKANAYAKE, I. “Estudios sobre el estrés por sequía y necesidades de riego de la papa”. *Centro internacional de la papa* [en línea], 1994, (Perú) 30, p. 20. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnabs379.pdf

ESPINOSA, B. et al. “Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: análisis técnico y económico”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016, (México) 34 (4), pp. 3-5-8. [Consulta: 23 abril 2021]. ISSN: 2395-8030. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57347465005.pdf>

FAO. “Agua y cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura”. *Gestión de publicaciones de la dirección de información de la FAO* [en línea], 2002, (Italia). pp. 10-14. [Consulta: 27 abril 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s03.htm>

FERNÁNDEZ, Alex, & ZAPATA, César. “Introducción a la evaluación de la huella hídrica”. *Good Stuff International* [en línea], 2018, p. 3. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/young-water-professionals/huella-hidrica-como-herramienta-gestion>

FERNÁNDEZ, R; et al. *Manual de riego para agricultores. Módulo 2: Riego por superficie* [en línea]. Sevilla-España: Junta de Andalucía, 2010. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48517053.pdf>

FUENTE, A. “Programación del riego con tensiómetros”. *Scientia tech asesoría, S.C.* [en línea], 2016, (México), pp. 22-28. [Consulta: 17 abril 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/ShitoRyu64/programacion-del-riego-con-tensio-metros>

FLORES, J. et al. “Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México”. *Ciencia Ergo* [en línea], 2017, (México) 24 (2), pp. 16-17. [Consulta: 18 marzo 2022]. ISSN 1405-0269. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/104/10450491007/10450491007.pdf>

GAIBOR ROJAS, Juan Diego. Determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) var. Calima en base al tanque de evaporación tipo a, y fórmulas empíricas(fao), en macaji, cantón Riobamba provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela superior politécnica de Chimborazo, (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 22-23, 45-46, 64-65, 117. [Consulta: 10-01-2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/12340/1/13T0885.pdf>

GARCÍA, I, & BRIONES, G. *Sistemas de riego por aspersión y goteo* [en línea]. 2° ed. México: Trillas, 2007. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <http://digital.cftsa.cl/elibros/Sistema%20de%20riego%20por%20aspersion%20y%20goteo/9/#zoom=z>

GOYAL, M. et al. *Manejo del riego por goteo* [en línea]. Recinto de Mayaguez-Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico: 2010. [Consulta: 12 abril de 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/suelos09/met-p-medir-humedad-del-suelo>

GUAMÁN, R. et al. “Variedades mejoradas de fréjol arbustivo para el litoral ecuatoriano”. *Iniap* [en línea], 2003, (Ecuador) Boletín divulgativo N° 297, p. 30. [Consulta: 18 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1982/1/iniaplbsd297.pdf>

HERNÁNDEZ LONDOÑO, Claudia, & SÁNCHEZ TOVAR, Vladimir. “Resistencia estomática y transpiración para fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) y haba (*Vicia faba* L.) en condiciones de invernadero”. *Momentos de ciencia* [en línea], 2010, (Colombia) 7 (1), pp. 5. [Consulta: 12 enero 2022]. Disponible en: <https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/view/194>

HIDALGO ZORRILLA, Mansueto Donato. Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en una parcela demostrativa en la provincia de Santiago de Chuco-La Libertad [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú. 2008. pp. 15-21. [Consulta: 2021-03-12]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/14331>

HURTADO, L. *Fundamentos de riego* [en línea]. Lima-Perú: Universidad agraria La Molina. 2002. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://fdocuments.ec/document/fundamentos-riego>

LAMELAS, C. et al. “La adecuada selección de las técnicas de riego. Una contribución al manejo sostenible de tierras”. *Instituto nacional de investigaciones de la caña de azúcar* [en línea], 2015, (Cuba), p. 1. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/handle/1234/3235?show=full>

LEÓN, J. *Riegos y drenajes*. Riobamba-Ecuador: E-copycenter. 2012. ISBN 978- 959-285-007-1, pp. 49-50.

LOPEZ, R. et al. “Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico”. *Revista Chapingo. Serie hortícola* [en línea], 2009, (México) 15 (1), pp. 3-5. [Consulta: 24 abril 2021]. ISSN 2007-4034. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n1/v15n1a12.pdf>

LEÓN, J. et al. “Requerimientos hídricos para el cultivo de fríjol variedad Calima en Riobamba, Ecuador *Revista SciELO* [en línea], 2022, (Ecuador). p. 2 ISSN 2788-6050 Disponible en: <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/570/479>

LÓPEZ, L. *Fenología del fríjol* [en línea]. Ibagué-Colombia: Universidad del Tolima, 2012. [Consulta: 17 abril 2021]. Disponible en: <https://pdfcookie.com/documents/fenologia-del-frijol-0nvojoy9d3328>

MALDONADO, Isaac, & ARAVENA, René. “Redes de estaciones meteorológicas automáticas y sus aplicaciones productivas”. *INIA* [en línea], 2006, (Chile). Boletín N° 145. pp. 244-245. [Consulta: 06 marzo 2022]. ISSN 0717-4829. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7121>

MARTÍNEZ, L. *Climatología y fenología agrícola* [en línea]. Plata-Argentina: Universidad nacional de la Plata, 2017. [Consulta: 16 abril 2021]. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/52763/mod_resource/content/3/11-2%20-%20Fenologia%20agricola.pdf

MEKONNEN. *El agua se valora y se mide* [en línea]. Aquabook: 2011. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: http://aquabook.agua.gob.ar/1067_0

MONTOYA, F. “Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol”. *Centro internacional de agricultura tropical* [en línea], 1985, (Colombia). p. 15. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81873/revision-2d5c6644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ORTIZ ARAGÓN, Alba Noelia; & LARIOS GONZÁLEZ, Roberto Carlos. “Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión”. *La calera* [en línea], 2020, (Nicaragua) 20 (35), pp. 8-9. [Consulta: 18 marzo 2022]. ISSN 1998-7846. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/306/3061378005/3061378005.pdf>

PASK, A. et al. “Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo”. *CIMMYT* [en línea], 2013, (México) p. 21. [Consulta: 06 marzo 2022]. ISBN 978-607-8263-20-2. Disponible en: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3390/97924.pdf?sequence=7>

PAVEZ, R. et al. “Comparación de la cámara de presión tipo Scholander modelo Pump-up respecto a la cámara de presión tradicional en vides de mesa”. *IDESIA* [en línea], 2011, (Chile) 29 (2), p. 3. [Consulta: 05 marzo 2022]. ISSN 0718-3429. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v29n2/art23.pdf>

PINO, E. et al. “La conductancia estomática y su relación con la temperatura foliar y humedad del suelo en el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.), en periodo de maduración de frutos, en zonas áridas. La Yarada, Tacna, Perú”. *IDESIA* [en línea], 2019, (Chile) 37 (4), p. 4. [Consulta: 05

marzo 2022]. ISSN 0718-3429. Disponible en:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000400055

PIRE, R. et al. “Conductividad hidráulica y grosor de los vasos del xilema en cinco materiales de vid sometidos a déficit hídrico”. *Interciencia* [en línea], 2007, (España) 32 (1), pp.3-4. [Consulta: 12 enero 2022]. ISSN 0378-1844. Disponible en:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100008

QUINTANA, W. et al. “Evaluación del crecimiento de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv ica cerinza, bajo estrés salino”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2016, (Colombia) 19 (1), pp. 3-6. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a10.pdf>

ROSAS, J. “El cultivo del frijol común en América tropical”. *Escuela agrícola panamericana/Zamorano* [en línea], 2003, (Honduras), pp. 19-21. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2424/1/prueba%2009.pdf>

RÍOS, J. et al. “Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México”. *Ciencia Ergo Sum* [en línea], 2017, (México), 24 (2), p. 6. [Consulta: 17 enero 2022]. ISSN 1405-0269. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10450491007>

SALAZAR BADILLO, Francisco Gabriel. DISEÑO, INSTALACIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISIMETROS DE DRENAJE PARA AJUSTE DE COEFICIENTE DE CULTIVOS (Kc) [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela superior politécnica de Chimborazo, (Riobamba-Ecuador). 2020. pp. 13-31. [Consulta: 10-01-2022]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14319/1/13T00924.pdf>

SALGERO CHÁVEZ, Daniel Mesías. Evaluación de tres métodos para determinar el requerimiento hídrico, del cultivo de maíz (*Zea mays*. L.) var iniap 102, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2018. pp.6-8. [Consulta: 21-01-2021]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10351/1/13T0867.pdf>

SILVA FERNANDEZ, María Cristina. Respuestas en parámetros de intercambio gaseoso para genotipos de *Eucalyptus globulus* sometidos a déficit hídrico y su relación con su crecimiento inicial en campo [en línea](Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de Concepción, Chile.

2017. p. 27. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/2790/3/Tesis_Respuestas_en_parametros_de_intercambio.pdf

SUÁREZ, J. et al. “Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copozú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.)”. *Agronomía mesoamericana* [en línea], 2017, (Costa Rica) 28 (1), p. 4 [Consulta: 07 enero de 2022]. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/20814/27295>

UGALDE, F. et al. “Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México”. *Agronomía mesoamericana* [en línea], 2011, (México) 22 (1), p.6. [Consulta: 18 marzo 2022]. ISSN 2215-3608. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000100004

USABIAGA, J. et al. “Requerimientos hídricos de especies anuales y perennes en las zonas media y altiplano de San Luis Potosí”. *INIFAP* [en línea], 2001, (México) 12 (1), p. 23. [Consulta: 17 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/755.pdf>

VALVERDE, J. *Riego y drenaje* [en línea]. San José-Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 2007. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Chy5vADO63AC&pg=PT5&lpg=PT5&dq=Riego+y+Drenaje+valverde&source=bl&ots=gHkFh9jfd9&sig=ACfU3U28LsdKnrO4T8JQgU2No4-NUL9DLQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj_hPnLIJz2AhUisTEKHf1NAakQ6AF6BAgeEAM#v=onepage&q=Riego%20y%20Drenaje%20valverde&f=false

VILA, Hernán Félix. Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés, y resistencia a déficit hídrico en vid Modelo vs. Experimentos [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. 2011. pp. 34-35. [Consulta: 17-03-2022]. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/4367/vila-regulacionhidratacion.pdf

YZARRA, Wilfredo, & LOPÉZ, Francisco. “Manual de observaciones fenológicas”. *Senamhi* [en línea], 2011, (Perú), p. 10. [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

YEPES, Adriana, & BUCKERIDGE, Marcos. “Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión)”. *Colombia forestal* [en línea], 2011, (Colombia) 14 (2), p.12. [Consulta: 19 marzo 2022]. ISSN 0120-0739. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939616005.pdf>

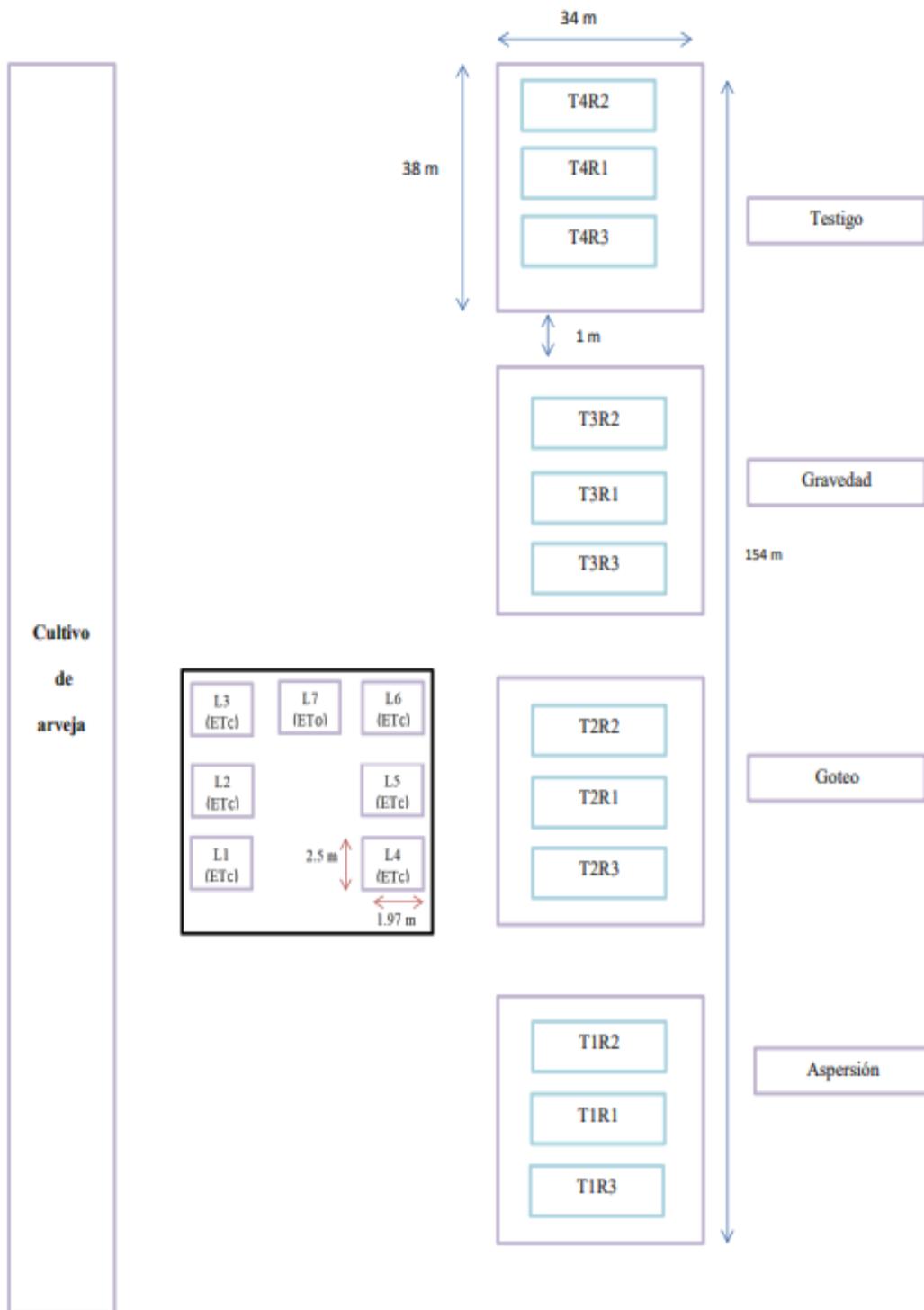
 **D.B.R.A.I.**

Ing. Cristhian Castillo



ANEXOS

ANEXO A: Distribución del ensayo en la estación experimental Tunshi – Centro experimental del riego.



Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO B: Registro de datos a los 20 días

Tratamientos	# de hojas	D. tallo	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	3.6	4.26	6.3	309.8	345.3	-6.7	-1.1
Goteo	3.7	4.93	7.5	367.5	412.5	-5.6	-2.3

Gravedad	2.9	4.67	6.3	287.5	302.2	-7.8	-5.2
Testigo	2.4	4.12	5.7	228.4	228.4	-9.2	-9.2
Aspersión	3.5	4.56	6.4	306.6	346.5	-6.2	-1.5
Goteo	4.4	5.11	7.6	342.8	414.6	-4.8	-2.7
Gravedad	2.7	4.73	5.5	280.2	308.4	-8.3	-4.8
Testigo	2.8	3.66	6	226.1	226.1	-8.9	-8.9
Aspersión	3.8	4.89	6.1	308.6	343.1	-7.1	-2.3
Goteo	4.8	4.92	9.5	356.4	411.3	-5.1	-2.7
Gravedad	3	4.8	6.1	285.1	306.6	-8	-4.5
Testigo	2.3	3.87	6.1	230.8	230.8	-8.8	-8.8

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO C: Registro de datos a los 40 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallos	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	5.5	5.22	9.8	336.5	375.3	-6.6	-3.1
Goteo	5.3	5.53	10.5	394.8	430.5	-5.7	-1.3
Gravedad	5.3	5.15	9.4	279	359.1	-7.3	-3.4
Testigo	4.2	4.63	8.5	218.7	218.7	-8.8	-8.8
Aspersión	5.5	5.48	10.9	332.4	371.6	-6.4	-2.8
Goteo	5.8	5.67	11	396.5	433.7	-5.5	-1.8
Gravedad	4.7	5.13	8.4	278.6	355.9	-6.7	-3.3
Testigo	4	4.11	9	214.1	214.1	-8	-8
Aspersión	5.7	5.74	10.4	336.3	373.9	-7	-2.3
Goteo	6	5.45	13.9	393.9	428.2	-5.5	-2
Gravedad	5	5.28	9.2	277.6	350.2	-7.5	-4.5
Testigo	3.9	4.32	9.1	212.2	212.2	-8.6	-8.6

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO D: Registro de datos a los 60 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallos	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	9.6	5.78	21.8	343.5	447.3	-7.2	-3.2
Goteo	10.3	6.02	20	355.5	555.2	-5.2	-2.4
Gravedad	10.8	6.4	22.4	302.4	435.2	-6.9	-4
Testigo	7.7	5.18	18.9	223.3	223.3	-9	-9
Aspersión	10.8	6.49	22	347.8	451.6	-7.5	-3.2
Goteo	12.2	7	25.3	340	558.4	-5.7	-2.6
Gravedad	10.5	6.58	21.4	322	421	-7	-5.7
Testigo	7.4	4.65	22.6	251.1	251.1	-8.2	-8.2
Aspersión	11.5	6.7	25.5	326.5	441.9	-7.3	-3.1
Goteo	13.4	6.98	28.7	382.4	548.9	-5.5	-2.9
Gravedad	9.9	6.08	20.5	320.8	420.8	-7	-5.2
Testigo	7	4.93	19.8	240.7	240.7	-8.7	-8.7

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO E: Registro de datos a los 80 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallo	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	15.6	7.49	33.1	388.2	473.8	-6.9	-4.5
Goteo	15.7	8.17	37.1	419.2	523.8	-5.5	-2.5
Gravedad	16.7	7.41	32.7	347.5	466.3	-7.5	-5
Testigo	12.4	5.58	26	368.8	368.8	-8.3	-8.3
Aspersión	14.8	7.58	39.4	376.4	480.9	-6.5	-2.5
Goteo	17.5	8.08	35.9	425.5	501.3	-5.3	-2
Gravedad	18.6	7.2	30.7	334.4	445.2	-7.5	-5.4
Testigo	12.2	5.43	31.8	342.7	342.7	-8.8	-8.8
Aspersión	16.5	7.92	37.2	372.1	472.3	-6.5	-3
Goteo	18.7	8.41	38.4	408.7	492.7	-5.8	-1.8
Gravedad	15.9	6.85	29	352.9	435.6	-7.5	-5.5
Testigo	14.3	5.7	32	354.1	354.1	-8.1	-8.1

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO F: Registro de datos a los 100 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallo	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	22	8.93	41.7	313.3	518.8	-7.5	-4.5
Goteo	20	9.36	43.8	397	562.5	-5	-2
Gravedad	22.1	8.06	38.9	288.4	366.4	-7.8	-5.3
Testigo	17.2	6.74	31	211.5	211.5	-8.2	-8.2
Aspersión	19.8	8.45	44.2	307.5	515.2	-6.8	-5
Goteo	22.6	8.9	44.2	373.3	553.7	-5.5	-2
Gravedad	23	7.78	37.2	253.4	368.7	-7.5	-5
Testigo	16.5	6.19	37.8	222	222	-8.2	-8.2
Aspersión	21.2	8.78	42.1	313.3	511.4	-7.4	-2.7
Goteo	24.2	9.24	45	380.9	550.1	-5.5	-2.3
Gravedad	21.2	7.86	35.9	273.3	364.4	-7.4	-5.5
Testigo	19.3	6.64	37.6	245.5	245.5	-8.8	-8.8

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO G: Registro de datos a los 120 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallo	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	23.9	9.36	43.9	333.8	506.6	-8	-6.2
Goteo	23	9.8	46.5	455.6	520.5	-5.2	-2.5

Gravedad	25.5	8.53	41.8	370.5	413.6	-8.2	-5.5
Testigo	20.2	7.34	34.3	332.5	332.5	-9.5	-9.5
Aspersión	23.8	8.93	47.4	316.9	487.7	-7.6	-6
Goteo	25.4	9.42	46.9	384.7	530.2	-5.5	-1.5
Gravedad	25.9	8.25	39.3	375.7	427.6	-8.5	-6.3
Testigo	19.8	6.71	40.5	304.3	304.3	-9.5	-9.5
Aspersión	24.9	9.14	46.2	350.4	486.1	-7.6	-6.4
Goteo	26.4	9.77	47.5	421.4	543.4	-5.8	-2.7
Gravedad	24.4	8.35	38.9	339.2	407.7	-8.5	-6.4
Testigo	22.1	7.05	40.2	324.4	324.4	-9.5	-9.5

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO H: Registro de datos a los 140 días.

Tratamientos	# de hojas	D. tallo	A. planta	C.E.A.riego	C.E.D.riego	E.H.A.riego	E.H.D.riego
Aspersión	24.8	9.44	44.7	458.8	563.5	-9.5	-5.5
Goteo	24.2	9.97	47.4	495.8	558.1	-5.5	-2.3
Gravedad	25.7	8.63	42.1	317.6	398.4	-10	-6.7
Testigo	20.3	7.36	34.4	372.5	372.5	-10.3	-10.3
Aspersión	24.6	9.1	47.9	437.4	585.3	-9.8	-5.9
Goteo	27.44	9.55	48.1	500.4	557.2	-5.2	-2.2
Gravedad	26	8.34	39	252.9	411	-10.1	-6
Testigo	20	6.77	41.1	390.1	390.1	-10.5	-10.5
Aspersión	25.7	9.1	47.9	452.7	571.5	-9.5	-5.5
Goteo	27.7	9.87	48.4	489.5	561.2	-5.6	-2.7
Gravedad	24.9	8.45	40.7	266.3	405.3	-10.1	-6
Testigo	22.7	7.11	40.2	350.3	350.3	-10.5	-10.5

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO I: Contenido relativo de agua (%)

Repeticiones	Tratamientos	WRC
R1	Aspersión	83.44
R1	Goteo	90.72

R1	Gravedad	59
R1	Testigo	43.76
R2	Aspersión	79.26
R2	Goteo	88.47
R2	Gravedad	60.36
R2	Testigo	39.51
R3	Aspersión	79.26
R3	Goteo	89.06
R3	Gravedad	58.39
R3	Testigo	41.22

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO J: Materia seca de la vaina (%).

Repeticiones	Tratamientos	M.S. Vaina
R1	Aspersión	17.87
R1	Goteo	14.03
R1	Gravedad	22
R1	Testigo	35.20
R2	Aspersión	18.75
R2	Goteo	15.18
R2	Gravedad	21.11
R2	Testigo	36.33
R3	Aspersión	18.05
R3	Goteo	14.59
R3	Gravedad	21.91
R3	Testigo	36.18

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO K: Materia seca de la planta (%).

Repeticiones	Tratamientos	M.S. Planta
R1	Aspersión	20.93
R1	Goteo	18.62
R1	Gravedad	19
R1	Testigo	22.03
R2	Aspersión	21.88
R2	Goteo	19.27
R2	Gravedad	19.35
R2	Testigo	22.62
R3	Aspersión	20.54
R3	Goteo	18.59
R3	Gravedad	18.25
R3	Testigo	21.50

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO M: Coeficiente de uniformidad (%).

Repeticiones	Tratamientos	Eficiencia
R1	Aspersión	83.9
R1	Goteo	93.0
R1	Gravedad	61.6
R2	Aspersión	83.2
R2	Goteo	94.7
R2	Gravedad	59.8
R3	Aspersión	80.9
R3	Goteo	94.0
R3	Gravedad	53.3

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO N: Huella hídrica verde y azul

Tratamientos	Precipitaciones (L)	Riego(L)	Huella hídrica verde (L/kg)	Huella hídrica azul (L/kg)
Aspersión	26099.16	18566.78	230.15	163.73
Goteo	29075.38	18997.95	230.76	150.78
Gravedad	30449.02	28787.90	831.94	786.55
Testigo	22894		1031.26	0.00
Aspersión	26099.16	18566.78	235.13	167.27
Goteo	29075.38	18997.95	228.04	149.00
Gravedad	30449.02	28787.90	811.97	767.68
Testigo	22894		1004.12	0.00
Aspersión	26099.16	18566.78	238.35	169.56
Goteo	29075.38	18997.95	229.12	149.71
Gravedad	30449.02	28787.90	811.97	767.68
Testigo	22894		1017.51	0.00

Fuente: Vizuite, 2022.

ANEXO Ñ: Rendimiento en kilogramos por hectárea

Repeticiones	Tratamientos	Kg
R1	Aspersión	9947.4
R1	Goteo	9921.3
R1	Gravedad	2751.9
R1	Testigo	2220
R2	Aspersión	9736.8
R2	Goteo	10039.4
R2	Gravedad	2819.5
R2	Testigo	2280
R3	Aspersión	9605.3
R3	Goteo	9992.1
R3	Gravedad	2819.5
R3	Testigo	2250

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO O: Rendimiento en kilogramos por parcela neta

Repeticiones	Tratamientos	Kg
R1	Aspersión	113.4
R1	Goteo	126
R1	Gravedad	36.6
R1	Testigo	22.2
R2	Aspersión	111
R2	Goteo	127.5
R2	Gravedad	37.5
R2	Testigo	22.8
R3	Aspersión	109.5
R3	Goteo	126.9
R3	Gravedad	37.5
R3	Testigo	22.5

Fuente: Vizuete, 2022.

ANEXO P: Pesticidas y fertilizantes empleados en la investigación.

Fecha	Nombre comercial	Ingrediente activo	Tipo
13/06/2021	Quimasa	10-26-26	Fertilizante
22/06/2021	Mistral	Fomesafen	Herbicida
	pH Ned	Ácido orto fosfórico	Regulador de pH
30/06/2021	Curacron	Profenofos	Insecticida
	pH Ned	Acido orto fosfórico	Regulador de pH
	Novak	Metil tiofanato	Fungicida
	Metacontrol	Metalaxil + mancozeb	Fungicida
	Humicraft	Aminoácidos, Ácidos húmicos, MO	Fertilizante
13/07/2021	Novak	Metil tiofanato	Fungicida
	Indicate 5	Acido orto fosfórico	Regulador de pH
	Metacontrol	Metalaxil + mancozeb	Fungicida
	Humicraft	Aminoácidos, Ácidos húmicos, MO	Fertilizante
	Agrostemin	Extracto de algas marinas	Fertilizante
	Endgusamyl	Metomyl	Insecticida
11/08/2021	Indicate 5	Ácido orto fosfórico	Regulador de pH
	Rotal del monte	Clorotalonil	Fungicida
	Libertaje	Azoxystrobin + flutriafol	Fungicida
	Nitrofoska Desarrollo	30_10_10	Fertilizante
	Fertilon combi	Microelementos	Fertilizante
	Harvest	Acephate	Insecticida
25/08/2021	Indicate 5	Ácido orto fosfórico	Regulador de pH
	Rotal del monte	Clorotalonil	Fungicida
	Libertaje	Azoxystrobin + flutriafol	Fungicida
	Nitrofoska Desarrollo	30_10_10	Fertilizante
	Ankor flex - inicio	Aminoácidos, Macro y microelementos	Fertilizante

	Harvest	Acephate	Insecticida
	Auxim-Ca	Calcio-Boro	Fertilizante
	K-50	Potasio + EDTA	Fertilizante
15/09/2021	Limber	Iprodione	Fungicida
	Satisfar+Invensible	Azoxystrobin	Fungicida
	Fullmectin	Abamectin	Insecticida
	Indicate 5	Acido ortofosforico	Regulador de pH
	Humicraft	Aminoacidos, Acidos humicos, MO	Fertilizante
	Auxim-Ca	Calcio-Boro	Fertilizante
	Hakaphos base	7-12-40 y Microelementos	Fertilizante

Fuente: Vizquete, 2022.

ANEXO Q: Programación de riego en goteo

Área a regar: 1326 m ²										
FECHA	Nº GOTERO S	CAUDAL l/min	caudal total(l/min)	Precipitación (mm)	Lamina - precipitación	ETC	EFICIENCI A	VOLUMEN(L/m2)	VOLUMEN PARCELA (L)	Tiempo (min)
02/07/2021	12500	0.02	250	0.00	1.07	1.00	0.07	1.07	1359.05	5.44
05/07/2021	12500	0.02	250	1.65	0.00	3.60	0.25	3.85	0.00	0.00
08/07/2021	12500	0.02	250	0.00	4.71	4.40	0.31	4.71	5979.84	23.92
11/07/2021	12500	0.02	250	3.10	0.00	2.70	0.19	2.89	0.00	0.00
14/07/2021	12500	0.02	250	0.00	2.25	2.10	0.15	2.25	2854.01	11.42
17/07/2021	12500	0.02	250	0.05	4.12	3.90	0.27	4.17	5236.79	20.95
20/07/2021	12500	0.02	250	6.94	0.00	6.20	0.43	6.63	0.00	0.00
24/07/2021	12500	0.02	250	2.50	6.38	8.30	0.58	8.88	8103.90	32.42
27/07/2021	12500	0.02	250	4.95	0.00	4.40	0.31	4.71	0.00	0.00
31/07/2021	12500	0.02	250	0.05	9.36	8.80	0.61	9.41	11896.15	47.58
03/08/2021	12500	0.02	250	0.95	6.86	7.30	0.51	7.81	8714.12	34.86
06/08/2021	12500	0.02	250	0.50	7.74	7.70	0.54	8.24	9829.46	39.32
08/08/2021	12500	0.02	250	0.00	6.53	6.10	0.43	6.53	8290.23	33.16
12/08/2021	12500	0.02	250	0.00	12.73	11.90	0.83	12.73	16172.74	64.69
16/08/2021	12500	0.02	250	6.10	0.00	5.10	0.36	5.46	0.00	0.00
18/08/2021	12500	0.02	250	1.45	8.07	8.90	0.62	9.52	10253.35	41.01
22/08/2021	12500	0.02	250	0.70	8.93	9.00	0.63	9.63	11342.13	45.37
26/08/2021	12500	0.02	250	2.15	9.83	11.20	0.78	11.98	12489.83	49.96
29/08/2021	12500	0.02	250	0.25	5.63	5.50	0.38	5.88	7157.17	28.63
01/09/2021	12500	0.02	250	1.25	5.49	6.30	0.44	6.74	6973.91	27.90
04/09/2021	12500	0.02	250	3.85	6.85	10.00	0.70	10.70	8699.11	34.80
06/09/2021	12500	0.02	250	25.20	0.00	4.30	0.30	4.60	0.00	0.00
13/09/2021	12500	0.02	250	14.70	0.00	10.20	0.71	10.91	0.00	0.00
16/09/2021	12500	0.02	250	6.65	0.30	6.50	0.45	6.95	385.03	1.54

19/09/2021	12500	0.02	250	0.00	6.95	6.50	0.45	6.95	8833.85	35.34
22/09/2021	12500	0.02	250	1.15	5.59	6.30	0.44	6.74	7100.96	28.40
26/09/2021	12500	0.02	250	0.00	8.34	7.80	0.54	8.34	10600.62	42.40
01/10/2021	12500	0.02	250	0.70	12.67	12.50	0.87	13.37	16098.82	64.40
06/10/2021	12500	0.02	250	2.25	9.20	10.70	0.75	11.45	11683.25	46.73
10/10/2021	12500	0.02	250	16.55	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/10/2021	12500	0.02	250	18.50	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/10/2021	12500	0.02	250	10.75	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00
21/10/2021	12500	0.02	250	12.75	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00
23/10/2021	12500	0.02	250	11.15	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00
24/10/2021	12500	0.02	250	13.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00
27/10/2021	12500	0.02	250	21.00	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00
29/10/2021	12500	0.02	250	11.05	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00
01/11/2021	12500	0.02	250	18.90	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00
05/11/2021	12500	0.02	250	8.20	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: Vizquete, V. 2022.

ANEXO R: Programación de riego en gravedad

Área a regar: 1326 m ²											
FECHA	Nº LLAVES	CAUDAL L/s	Caudal total (L/s)	Precipitación (mm)	ETC	EFICIENCIA	Lamina - Precipitación	VOLUMEN(L/m2)	VOLUMEN PARCELA(L)	tiempo (s)	Tiempo (min)
02/07/2021	76	0.17	12.92	0	1	0.54	1.54	1.54	2039.39	11996.40	199.94
05/07/2021	76	0.17	12.92	1.65	3.6	1.94	3.89	5.54	5153.90	30317.04	505.28
08/07/2021	76	0.17	12.92	0	4.4	2.37	6.77	6.77	8973.31	52784.16	879.74
11/07/2021	76	0.17	12.92	3.1	2.7	1.45	0.00	4.15	0.00	0.00	0.00
14/07/2021	76	0.17	12.92	0	2.1	1.13	3.23	3.23	4282.71	25192.44	419.87
17/07/2021	76	0.17	12.92	0.05	3.9	2.10	5.95	6.00	7887.31	46395.96	773.27
20/07/2021	76	0.17	12.92	6.94	6.2	3.34	0.00	9.54	0.00	0.00	0.00

24/07/2021	76	0.17	12.92	2.5	8.3	4.47	10.27	12.77	13611.92	80070.12	1334.50
27/07/2021	76	0.17	12.92	4.95	4.4	2.37	0.00	6.77	0.00	0.00	0.00
31/07/2021	76	0.17	12.92	0.05	8.8	4.73	13.48	13.53	17880.31	105178.32	1752.97
03/08/2021	76	0.17	12.92	0.95	7.3	3.93	10.28	11.23	13627.83	80163.72	1336.06
06/08/2021	76	0.17	12.92	0.5	7.7	4.14	11.34	11.84	15040.29	88472.28	1474.54
08/08/2021	76	0.17	12.92	0	6.1	3.28	9.38	9.38	12440.27	73178.04	1219.63
12/08/2021	76	0.17	12.92	0	11.9	6.40	18.30	18.30	24268.72	142757.16	2379.29
16/08/2021	76	0.17	12.92	6.1	5.1	2.74	0.00	7.84	0.00	0.00	0.00
18/08/2021	76	0.17	12.92	1.45	8.9	4.79	12.24	13.69	16227.85	95457.96	1590.97
22/08/2021	76	0.17	12.92	0.7	9	4.84	13.14	13.84	17426.29	102507.60	1708.46
26/08/2021	76	0.17	12.92	2.15	11.2	6.03	15.08	17.23	19990.25	117589.68	1959.83
29/08/2021	76	0.17	12.92	0.25	5.5	2.96	8.21	8.46	10885.13	64030.20	1067.17
01/09/2021	76	0.17	12.92	1.25	6.3	3.39	8.44	9.69	11190.64	65827.32	1097.12
04/09/2021	76	0.17	12.92	3.85	10	5.38	11.53	15.38	15288.78	89934.00	1498.90
06/09/2021	76	0.17	12.92	25.2	4.3	2.31	0.00	6.61	0.00	0.00	0.00
13/09/2021	76	0.17	12.92	14.7	10.2	5.49	0.99	15.69	1309.56	7703.28	128.39
16/09/2021	76	0.17	12.92	6.65	6.5	3.50	3.35	10.00	4438.12	26106.60	435.11
19/09/2021	76	0.17	12.92	0	6.5	3.50	10.00	10.00	13256.02	77976.60	1299.61
22/09/2021	76	0.17	12.92	1.15	6.3	3.39	8.54	9.69	11323.24	66607.32	1110.12
26/09/2021	76	0.17	12.92	0	7.8	4.20	12.00	12.00	15907.23	93571.92	1559.53
01/10/2021	76	0.17	12.92	0.7	12.5	6.73	18.53	19.23	24564.15	144495.00	2408.25
06/10/2021	76	0.17	12.92	2.25	10.7	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/10/2021	76	0.17	12.92	16.55	10	5.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/10/2021	76	0.17	12.92	18.5	7	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/10/2021	76	0.17	12.92	10.75	5.5	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21/10/2021	76	0.17	12.92	12.75	1.4	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23/10/2021	76	0.17	12.92	11.15	1.9	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24/10/2021	76	0.17	12.92	13	1.1	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/10/2021	76	0.17	12.92	21	4.3	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/10/2021	76	0.17	12.92	11.05	2.1	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/11/2021	76	0.17	12.92	18.9	3.4	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/11/2021	76	0.17	12.92	8.2	3.1	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: Vizuete, V. 2022.

ANEXO S: Programación de riego en aspersión.

Área a regar: 1326 m ²										
FECHA	N° ASPERSORES	CAUDAL l/min	Caudal total(l/min)	Precipitación (mm)	ETC	EFICIENCIA	Lamina - Precipitación	VOLUMEN(L/m2)	VOLUMEN PARCELA(L)	tiempo R.(min)
02/07/2021	12	4.2	50.4	0	1	0.15	1.15	1.15	1303.85	25.87
05/07/2021	12	4.2	50.4	1.65	3.6	0.54	0.00	4.14		
08/07/2021	12	4.2	50.4	0	4.4	0.67	5.07	5.07	5736.93	113.83
11/07/2021	12	4.2	50.4	3.1	2.7	0.41	0.00	3.11	0.00	0.00
14/07/2021	12	4.2	50.4	0	2.1	0.32	2.42	2.42	2738.08	54.33
17/07/2021	12	4.2	50.4	0.05	3.9	0.59	4.44	4.49	5028.38	99.77
20/07/2021	12	4.2	50.4	6.94	6.2	0.94	0.00	7.14	0.00	0.00
24/07/2021	12	4.2	50.4	2.5	8.3	1.26	7.06	9.56	7990.68	158.55
27/07/2021	12	4.2	50.4	4.95	4.4	0.67	0.00	5.07	0.00	0.00
31/07/2021	12	4.2	50.4	0.05	8.8	1.33	10.08	10.13	11417.23	226.53
03/08/2021	12	4.2	50.4	0.95	7.3	1.10	7.45	8.40	8442.21	167.50
06/08/2021	12	4.2	50.4	0.5	7.7	1.17	8.37	8.87	9473.37	187.96
08/08/2021	12	4.2	50.4	0	6.1	0.92	7.02	7.02	7953.47	157.81
12/08/2021	12	4.2	50.4	0	11.9	1.80	13.70	13.70	15515.78	307.85
16/08/2021	12	4.2	50.4	6.1	5.1	0.77	0.00	5.87	0.00	0.00
18/08/2021	12	4.2	50.4	1.45	8.9	1.35	8.80	10.25	9962.12	197.66
22/08/2021	12	4.2	50.4	0.7	9	1.36	9.66	10.36	10941.88	217.10
26/08/2021	12	4.2	50.4	2.15	11.2	1.69	10.74	12.89	12168.21	241.43
29/08/2021	12	4.2	50.4	0.25	5.5	0.83	6.08	6.33	6888.03	136.67
01/09/2021	12	4.2	50.4	1.25	6.3	0.95	6.00	7.25	6798.61	134.89
04/09/2021	12	4.2	50.4	3.85	10	1.51	7.66	11.51	8678.35	172.19
06/09/2021	12	4.2	50.4	25.2	4.3	0.65	0.00	4.95	0.00	0.00

13/09/2021	12	4.2	50.4	14.7	10.2	1.54	0.00	11.74	0.00	0.00
16/09/2021	12	4.2	50.4	6.65	6.5	0.98	0.83	7.48	943.88	18.73
19/09/2021	12	4.2	50.4	0	6.5	0.98	7.48	7.48	8475.01	168.15
22/09/2021	12	4.2	50.4	1.15	6.3	0.95	6.10	7.25	6911.86	137.14
26/09/2021	12	4.2	50.4	0	7.8	1.18	8.98	8.98	10170.01	201.79
01/10/2021	12	4.2	50.4	0.7	12.5	1.89	13.69	14.39	15505.34	307.65
06/10/2021	12	4.2	50.4	2.25	10.7	1.62	10.07	12.32	11403.04	226.25
10/10/2021	12	4.2	50.4	16.55	10	1.51	0.00	11.51	0.00	0.00
16/10/2021	12	4.2	50.4	18.5	7	1.06	0.00	8.06	0.00	0.00
20/10/2021	12	4.2	50.4	10.75	5.5	0.83	0.00	6.33	0.00	0.00
21/10/2021	12	4.2	50.4	12.75	1.4	0.21	0.00	1.61	0.00	0.00
23/10/2021	12	4.2	50.4	11.15	1.9	0.29	0.00	2.19	0.00	0.00
24/10/2021	12	4.2	50.4	13	1.1	0.17	0.00	1.27	0.00	0.00
27/10/2021	12	4.2	50.4	21	4.3	0.65	0.00	4.95	0.00	0.00
29/10/2021	12	4.2	50.4	11.05	2.1	0.32	0.00	2.42	0.00	0.00
01/11/2021	12	4.2	50.4	18.9	3.4	0.51	0.00	3.91	0.00	0.00
05/11/2021	12	4.2	50.4	8.2	3.1	0.47	0.00	3.57	0.00	0.00

Elaborado por: Vizuete, V. 2022.



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11/ 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Vanessa Elizabeth Vizuite Orozco
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Agronomía
Título a optar: Ingeniera Agrónoma
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz


D.B.R.A.I.
Ing. Cristhian Castillo



1266-DBRA-UTP-2022